

Tiestömittausten koordinaattitutkimus

Tiehallinnon selvityksiä 49/2007

Tiestömittausten koordinaattitutkimus

Tiehallinnon selvityksiä 49/2007

Kansikuva: Carita Ahlgren

ISBN 978-951-803-972-6

ISSN 1457-9871

TIEH 3201075

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)

ISBN 978-951-803-973-3

ISSN 1459-1553

TIEH 3201075-v

Edita Prima Oy

Helsinki 20078

Julkaisua myy/saatavana:

Edita (asiakaspalvelu.prima@edita.fi)

Faksi 020 450 2470

Puhelin 020 450 011



TIEHALLINTO

Asiantuntijapalvelut

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0204 22 11

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuuksia siirtyä tulevaisuudessa käyttämään teiden jakopisteiden automaattista etsintää koordinaattien avulla. PTM-mittauksia käytettiin tutkimuksessa esimerkkitapauksena ja automaattisen koordinaattien etsinnän mittauksia tehtiin viidessä tiepiirissä (Turku, Kaakkois-Suomi, Keski-Suomi, Vaasa ja Lappi). Lisäksi käytettiin vertailuna manuaalisesti mitattuja jakopisteiden koordinaatteja muista eri tiepiireistä. Tavoitteena oli analysoida saatu koordinaattidata sopivin menetelmin ja esittää analyysitulosten perusteella mahdollisuudet koordinaattipohjaiseen jakopisteiden etsintään siirtymisestä tiestömittauksissa tulevana vuosina. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten automaattinen jakopisteiden etsintä vaikuttaa datan ja mittausten laatuun.

Nykyisissä tiestömittauksissa mittaaja etsii visuaalisesti kunkin tieosan mittauksen alkaessa tieosan jakopisteiden, käynnistää mittauksen manuaalisesti ja päättää tieosan mittauksen seuraavalla jakopisteellä. On havaittu, että manuaalinen jakopisteiden etsintä voi tuottaa suuria eroja kahden eri mittauksen välille. Automaattisessa jakopisteiden etsinnässä mittausjärjestelmä hakee mittausjärjestelmään talletettua koordinaattipistettä lähinnä olevan pisteen ja aloittaa sekä lopettaa tieosan mittauksen automaattisesti. Suomessa on saatavilla GPS-koordinaattipalveluita 2 metrin tarkkuudella. Näihin palveluihin tarvitaan myös DGPS-korjauspalvelu, joka poistaa GPS:n virheet.

Tiehallinto käyttää tällä hetkellä rinnan sekä Yhtenäiskoordinaatistoa (YKJ) että uutta EUREF-koordinaattijärjestelmää (European Reference Frame). Tiestömittauksissa käytetään tällä hetkellä vielä YKJ:ää. Jakopisteille on olemassa tietietokannan mukaiset koordinaatit, jotka pohjautuvat Maanmittauslaitokselta saatuihin tietietokannan tiestöön. Nämä koordinaatit eivät kuitenkaan ole huipputarkkoja.

Koordinaattien saatavuus ja toistettavuus jakopisteiden automaattisella etsinnällä verrattuna manuaaliseen jakopisteiden etsintään on analyysien perusteella selkeästi parempaa tasoa. Tietyt tilanteet tai olosuhteet, kuten esimerkiksi säätila, mittausympäristö tai GPS:n laatu voivat kuitenkin heikentää satunnaisesti automaattisen etsinnän koordinaattien tarkkuutta. Lähtötilana käytettävien tietietokannan jakopistekoordinaattien suurimmat virheet tulisi korjata.

Tehtyjen koordinaattimittausten satelliittimäärät olivat hyvää tasoa koko Suomessa. DGPS-korjauksen saatavuus oli muutoin hyvä, paitsi Kaakkois-Suomen alueella ilmeni jonkin verran ongelmia. GPS:n laatua kuvaava DOP-arvo antoi hyviä tuloksia. Koordinaattien laatu ei myöskään ole riippuvainen mittausajoneuvon ajonopeudesta.

Jakopisteiden automaattinen etsintä parantaa parametrien laatua 10 metrin tulostusvälillä, millä on merkitystä datan käytössä yksittäisissä työkohteissa. Sen sijaan 100 m datan laatuun automaattisuudella ei juuri ole vaikutusta. Automaattisuuden vaikutuksesta tulisi myös kehittää vastakkaisen mittaussuuntien mittausten tarkastelu samalla tienkohdalla, koska tieosoitteet ovat tarkemmin kohdallaan mittausdatassa.

Nyckelord: vägmätningar, mätmetod, utveckling

SAMMANFATTNING

I den här undersökningen utreddes möjligheter att övergå till att söka vägens delningspunkter automatiskt med hjälp av koordinater i framtiden. Vägytemätningar användes som exempel i undersökningen och mätningar i vilka koordinater söktes automatiskt utfördes i fem vägdistrikt (Åbo, Sydöstra Finland, Mellersta Finland, Vasa och Lappland). Manuellt mätta delningspunktens koordinater från andra vägdistrikt användes också som jämförelse. Syftet var att analysera koordinatdata med lämpliga metoder och på grund av analysresultat framlägga möjligheter att övergå till att söka vägens delningspunkter med hjälp av koordinater i framtiden. Syftet var också att utreda hur delningspunktens automatiska sökning påverkar kvalitet av data och mätningar.

I befintliga vägmätningar söker mätaren vägavsnittets delningspunkt visuellt i början av mätningen, startar mätningen manuellt samt avslutar mätningen av vägavsnittet i följande delningspunkt. Det har märkts att delningspunktens manuella sökning kan orsaka stora skillnader mellan två olika mätningar. I delningspunktens automatiska sökning letar mätningssystem punkten som är närmast koordinatpunkt sparad i mätningssystemet samt startar och avslutar mätningen automatiskt. I Finland finns det GPS-koordinatservice med 2 meters noggrannhet. I den här servicen behövs också DGPS-korrektions-service som tar GPS-fel bort.

Vägförvaltningen använder för tillfället både finskt YKJ-koordinatsystem och nytt EUREF-koordinatsystem (European Reference Frame). I vägmätningar används för tillfället ännu YKJ-koordinatsystemet. Vägens delningspunkter har koordinater enligt vägdatabas och de grundar sig på vägnätet av Lantmäteriverkets vägdatabas. De här koordinaterna är ändå inte extra noggranna.

På grund av analyser är tillgång och repeterbarhet av koordinater mycket bättre i delningspunktens automatiska sökning än i manuella sökning. Vissa tillfällena eller förhållandena, t.ex. väder, mätningssmiljö eller kvalitet av GPS kan ändå sporadiskt försämra noggrannhet av koordinater i automatisk sökning. Största fel i delningspunktens koordinater av vägdatabas, som används som ursprungsdata, borde korrigeras.

Antalet satelliter i utförda koordinatmätningar var utmärkt i hela Finland. Tillgång på DGPS-korrigeringsdata var annars bra, men i Sydöstra Finlands region fanns några problem. DOP-värde, som beskriver kvalitet av GPS, gav bra resultat. Kvalitet av koordinater är inte heller beroende av mätningssfordons hastighet.

Delningspunktens automatiska sökning förbättrar kvalitet av parametrar i 10 meters rapporteringsträcka, vilket har betydelse i användning av data i enskilda objekt. I stället inverkar automatisk sökning inte på kvalitet av 100 meters data. Med hjälp av automatisk sökning skulle undersökning av mätning i motsatta mätningsriktningar i samma vägpunkt utveckla, eftersom vägadresser är noggrannare i mätningssdata.

Keywords: road measurements, measurement methods, development

SUMMARY

In this study it has been studied the possibilities to move to use the automatic search of road division points by the means of coordinates in the future. Road condition measurements were used as example in this study and measurements of automatic search of coordinates were made in five road districts (Turku, Kaakkois-Suomi, Keski-Suomi, Vaasa and Lapland). Coordinates of division points measured manually in other road districts were also used as comparison. The aim was to analyse coordinate data by the appropriate methods and on account of analytical data to present possibilities to move to the coordinate based search of division points in the road measurements in the future. The aim was also to find out how automatic search of division points affects the quality of data and measurements.

In the present road measurements, measurer searches visually the division point of each road section in the beginning of the measurement, starts the measurement of the road section manually and stops it in the next division point. It has been noticed that the search of division point manually can cause considerable differences between measurements. In the automatic search of division points the measuring system looks for the point that is located nearest to the point saved into the measuring system and starts and stops the measurement automatically. In Finland there are GPS-coordinate services available at the accuracy of 2 meters. A DGPS-correction service that eliminates the errors of GPS is also needed to these services.

Finnish Road Administration uses at the moment both Finnish YKJ-coordinate system and new EUREF-coordinate system (European Reference Frame). In the road network measurements, YKJ-system is still being used. Division points have coordinates that are in accordance with road database and that are based on the road database network of National Land Survey of Finland. However, these coordinates are not extremely accurate.

On the ground of analyses, the availability and repeatability of coordinates are much better in the automatic search of division points than in manual search. However, particular situations or circumstances, such as weather, measuring surrounding or the quality of GPS might occasionally lessen the accuracy of the coordinates in automatic search. The biggest errors in the division point coordinates of road database that are used as initial data should be corrected.

The amount of satellites in the coordinate measurements was of good level in whole Finland. The availability of DGPS-correction was otherwise good but there were some problems in South-Eastern Finland. DOP-value that characterises the quality of GPS gave good results. The quality of coordinates is not either dependent on the speed of measuring vehicle.

The automatic search of division point improves the quality of parameters in 10 meter reporting interval which is of importance in the use of data in single objects. Instead, the automatic search has not very much effect on the quality of 100 meter data. By the means of automatic search, also the observation of measurements of opposite measuring directions at the same road location would be developed because road addresses are more accurate in measured data.

ESIPUHE

Tiestömittauksissa käytetään nykyisin jakopisteen etsimisessä manuaalista pisteen määrittystä, mikä tuo jonkin verran vaihtelua mittaustuloksiin. Mittaustulosten käyttäjälle tämä korostuu lyhyemmän raportointivälin datassa, kuten esimerkiksi 10 m ja mittaajalle laadun vaihteluna.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuuksia käyttää tiestömittauksissa (palvelutasomittaus, automaattinen päällysteiden vauriomittaus, kantavuusmittaukset) jakopisteen automaattista etsintää koordinaattien perusteella.

Työtä on ohjannut Tiehallinnon taholta Juho Meriläinen asiantuntijapalveluista. Tehtävän konsulttina toimi Ramboll Finland Oy, jossa työstä vastasi DI Kalervo Mattila. Työhön osallistuivat myös Ramboll RST:n DI Ildiko Boström, DI Eva-Maria Persson ja tiestömittaajat.

Helsinki, tammikuu 2008

Tiehallinto
Asiantuntijapalvelut

Sisältö

1	YLEISTÄ	11
1.1	Päällystetyn tiestön kuntomittaukset	11
1.2	Tutkimuksen tavoitteet	12
1.3	Aiemmat tutkimukset	12
2	TIEOSIEN JAKOPISTEIDEN PAIKANNUS	13
2.1	Tierekisterin tiedot	13
2.2	Manuaalinen paikannus	13
2.3	Koordinaattipohjainen paikannus	14
3	KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ JA PALVELUT SUOMESSA	15
3.1	Koordinaattijärjestelmä	15
3.2	Korkeusjärjestelmä	15
3.3	GPS	16
3.4	DGPS-korjaus	16
4	ANALYYSIT MITTAUSTULOKSISTA	18
4.1	Tutkimusta varten mitatut tieosat	18
4.2	Koordinaattien saatavuus	21
4.3	Koordinaattien toistettavuus	26
4.4	Ajonopeuden vaikutus	32
4.5	Datan erot eri mittaustavoilla	33
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	39
5.1	Mahdollisuus käyttää koordinaatteja tiestömittauksissa	39
5.2	Koordinaattien saatavuus ja toistettavuus	39
5.3	Vaikutukset dataan	40
5.4	Automaattisen jakopisteen etsinnän hyödyt	40
6	LÄHTEET	42
7	LIITTEET	43

10

1 YLEISTÄ

1.1 Päälystetyn tien kuntomittaukset

Päälystetyllä tieverkolla tehdään kolmea eri tyyppiä kuntomittauksia: palvelutasomittaukset (PTM), automaattiset päälysteiden vauriomittaukset (APVM) ja kantavuusmittauksia (pudotuspainolaitemittaukset, PPL).

PTM-mittauksissa tuotetaan lasermittaustekniikalla erilaisia tienpinnan kuntoa ja geometriaa kuvaavia tunnuslukuja [Ramboll 2006]. Osa parametreista tuotetaan reaaliaikaisesti mittausajoneuvossa ja osa jälkilaskentana toimistossa. PTM-mittauksen tunnusluvut voidaan jakaa seuraaviin kokonaisuuksiin:

- Pituussuuntaiset parametrit (IRI, RMS epätasaisuus)
- Poikkisuuntaiset parametrit (mm. maksimiura, vesiura, harjanteen korkeus)
- Karkeusparametrit (RMS karkeus eri aallonpituuksilta)
- Geometriaparametrit (sivukaltevuus, pituuskaltevuus, kaarteisuus)

APVM-mittauksia on tuotettu tieverkolta vuoden 2006 toukokuusta lähtien. Vauriotietojen saanti perustuu päälysteen pinnasta otettujen kuvien kuvatulokintaan, jonka tuloksena saadaan detaljitietoa halkeamista sekä tilastollisia tunnuslukuja. Itse mittaustapahtuma on siis päälysteen kuvaamista ja varsinainen tunnuslukujen laskenta tapahtuu toimistossa kuvatulokinnan avulla.

Nykyisissä APVM-mittauksissa saadaan kuvatulokinnan jälkeen tulosteina:

- Vauriokartat, jotka näyttävät halkeamien sijainnin 10 m tulostusvälein
- 100 m tunnusluvut, % (erilaisia vaurio-osuus -tunnuslukuja, kuten koko ajokaista, oikea ajoura ja vasen ajoura)
- 10 m tunnusluvut, % (vastaavat kun 100 m datassa)

Kantavuusmittaukset tehdään pudotuspainolaitteella lähinnä alemmalla tieverkolla. Mittaukset tehdään valituilta osilta tieverkkoa pistemäisesti. Mittausten tuloksena saadaan muun muassa:

- Kevätkantavuus
- Maksimitaipuma
- Kantavuusaste

Tieosien jakopisteiden löytäminen hoidetaan kuntomittauksissa nykyisten sopimusten mukaisesti manuaalisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että mittaaaja etsii visuaalisesti kunkin tieosan mittauksen alkaessa tieosan jakopisteen, käynnistää mittauksen manuaalisesti ja päättää tieosan mittauksen seuraavalla jakopisteellä.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen lähtökohtana oli mitata koordinaatit suurelta joukolta erilaisia tieosia eri puolilta Suomea, käyttäen PTM-mittauksia esimerkkitapauksena. Tavoitteena oli analysoida saatu koordinaattidata sopivin menetelmin ja esittää analyysitulosten perusteella mahdollisuudet koordinaattipohjaiseen jakopisteiden etsintään siirtymisestä tiestömittauksissa tulevana vuosina. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten automaattinen jakopisteen etsintä vaikuttaa datan ja mittausten laatuun.

1.3 Aiemmat tutkimukset

Ramboll RST on tehnyt pienimuotoiset sisäiset selvitystyöt koordinaattien mittaamisesta vuosina 2003 ja 2006. Näiden selvitysten tulokset ovat yhdensuuntaisia tässä raportissa esitettyjen asioiden kanssa, lukuun ottamatta siltojen alla olevien jakopisteiden koordinaatteja.

2 TIEOSIEN JAKOPISTEIDEN PAIKANNUS

2.1 Tierekisterin tiedot

Tieosien jakopisteiden tiedot on esitetty Tiehallinnon tierekisterissä, jossa on niistä lyhyt kuvaus. Tieosan jakopiste voi olla liittymä, eritasoliittymä, kunnanraja, sillan ukkopaalu tms. näkyvä kohde.

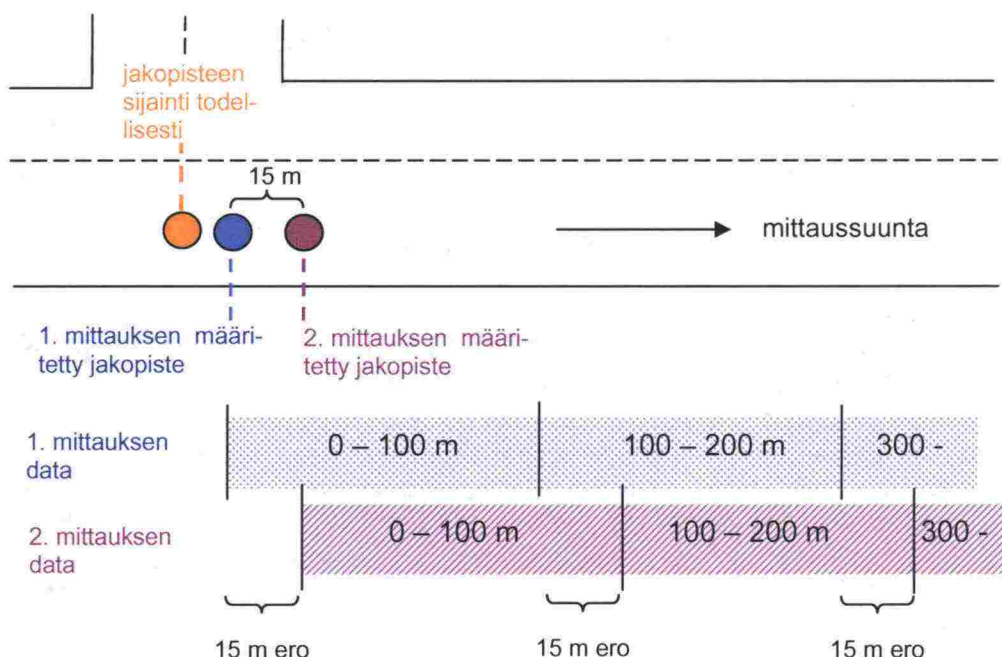
Jakopisteille on olemassa tietietokannan mukaiset koordinaatit (YKJ, ks. luku 3.1), jotka pohjautuvat Maanmittauslaitokselta saatuun tietietokannan tiestöön. Tietietokannan tarkkuus vastaa peruskarttaa (1:20 000). Tätä koordinaattiaineistoa on ylläpidetty Tiehallinnon paikkatietojärjestelmässä muutamia vuosia. Se poikkeaa jonkin verran Maanmittauslaitoksen toimittamasta uudesta aineistosta, joka on viety Digiroad-järjestelmään. Tietietokanta muodostaa käytännössä viivoista koostuvan tiestön jakopisteineen ja sitä on mahdollista käyttää mittausajoneuvon kuvaruudulla sijainnin tarkkailuun. Tietietokannan aineisto päivitetään vuoden 2008 alkuun mennessä Digiroadin tieverkolla.

2.2 Manuaalinen paikannus

Manuaalisessa paikannusmenetelmässä mittaja etsii visuaalisesti kunkin tieosan mittauksen alkaessa tieosan jakopisteen, käynnistää mittauksen manuaalisesti ja päättää tieosan mittauksen seuraavalla jakopisteellä. Mittaajien kuvaamien tilanteiden perusteella voi usein viedä esimerkiksi puoli tuntia ylimääräistä aikaa etsiä jakopistettä, joka on vaikea löytää. Kysymyksessä voi olla esimerkiksi paalu, rumpu yms., jonka kasvillisuus on peittänyt.

Subjektiiiviset virheet voivat vaikuttaa jakopisteen sijaintiin suurestikin. Jos tuotantomittauksen ja kontrollimittauksen jakopisteen määrittämisessä on esimerkiksi 15 metrin ero, merkitsee se sitä, että yhdellä 100-metrisellä on vertailussa kahden eri mittauksen välillä 85 % samalla kohdalla ja loput 15 % eri kohdalla (vrt. kuva 1). Tuo 15 % voi periaatteessa olla pituusväli, jolla on suuria arvoja ja 85 % pituusvälillä pieniä arvoja. Tällöin saadaan merkittävä laatuero tuotanto- ja kontrollimittauksille, mikä heikentää luottamusta dataan.

Lisäksi voidaan huomioida, että sama pituusero pysyy voimassa tieosan kaikilla 100-metrisillä. Tällainen virhe on luonnollisesti vielä merkittävämpi 10 m datassa. Samalla tieosoitteella olevat 10 m datat ovat esimerkin tapauksessa todellisuudessa eri 10-metrisillä.



Kuva 1. Kahden manuaalisesti määritetyn jakopisteen ero 100 m datassa. Kymmenen metrin datassa kaikki 10-metriset olisivat eri kohdalla.

2.3 Koordinaattipohjainen paikannus

Jakopisteen automaattisessa koordinaattietsinnässä mittausjärjestelmään asetetaan etukäteen **suunnittelukoordinaatit** eli tiedossa olevat jakopisteen koordinaatit. Tässä tutkimuksessa suunnittelukoordinaatteina on käytetty tietietokannan koordinaatteja. Mittausajoneuvon lähestyessä jakopistettä järjestelmä etsii lähimmän koordinaattipisteen verrattuna suunniteltuun koordinaattipisteeseen ja mittaus alkaa automaattisesti kyseisestä pisteestä. Tällöin mittajaan henkilökohtaiset virheet eivät vaikuta jakopisteen sijaintiin. Mittaajat näkevät tietietokannan tiestön ja oman sijaintinsa ajoneuvossa olevalta kuvaruudulta. Jakopisteen automaattinen etsintä ei vie mittaajilta ylimääräistä aikaa mittauksen yhteydessä, koska suunnittelukoordinaatit voidaan ohjelmoida paljon ennen mittautapahtumaa.

GPS-paikantimien koordinaatit saadaan yleisesti WGS84-koordinaattijärjestelmässä, josta ne voidaan muuntaa KKJ-järjestelmään tai EUREF-FIN-järjestelmään (ks. luku 3.1) muunnosohjelmalla. Niin sanotut DGPS-koordinaatit (Differentialinen GPS) saadaan mittausajoneuvoissa korjauspalvelun kautta. Tieosan koordinaatteja voidaan mitata kahdella tapaa: GPS-koordinaatteina ja jos GPS ei ole saatavilla, geometriadatan avulla luotuina koordinaatteina edellisen koordinaattilukeman pohjalta. Viimeksi mainittu varmistaa, että tieosan väliltä ei jää koordinaatteja pois. Jakopisteellä sen sijaan voidaan käyttää ainoastaan GPS-koordinaatteja.

Vuosina 2003–2006 tiestömittausten koordinaatit on mitattu WGS84-järjestelmään ja muunneltu YKJ-järjestelmään.

3 KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ JA PALVELUT SUOMESSA

3.1 Koordinaattijärjestelmä

Suomessa on käytössä valtakunnallisissa kartastotöissä käytetty kartasto-koordinaattijärjestelmää (**KKJ**), joka perustuu ensimmäisen luokan kolmioverkon koordinaatteihin. KKJ esitetään kolmen asteen kaistoissa tai yhdessä kaistassa, jonka keskimeridiaani on 27°. Tätä yhden kaistan esitystapaa kutsutaan nimellä yhtenäiskoordinaatisto (**YKJ**). [Maanmittauslaitos]

KKJ:n ohella on valtakunnallisesti otettu käyttöön uusi, Eurooppalaisen referenssijärjestelmän EUREF89:n (European Reference Frame 1989) reaalisatio nimeltä **EUREF-FIN**. KKJ:n kolmioverkko on liitetty 1990-luvun loppupuolella GPS-mittausten avulla eurooppalaiseen EUREFS89-järjestelmään. EUREF89 on itse asiassa 3D-koordinaattijärjestelmä eli järjestelmä sisältää X-, Y- ja Z-koordinaatit. [JUHTA]

Maanmittauslaitos on suositellut käytettäväksi valtakunnallisissa kartastotöissä uutta järjestelmää KKJ:n asemesta, mutta siirtymävaiheessa KKJ kulkee kuitenkin mukana. Koko valtakuntaa koskevia kartoitus- ja muita paikkatietotöitä varten on suositeltu käytettäväksi koko Suomen kattavaa poikittaista lieriöprojektiota, jota kutsutaan nimellä **EUREF-FIN_TM35**. Kyseinen järjestelmä sisältää X- ja Y-koordinaatit. Tässä yhteydessä käytetään siis EUREF-FIN -järjestelmän suorakulmaisesta koordinaatistosta (X, Y) nimitystä EUREF-FIN-TM35 ja maantieteellisistä koordinaateista (pallokoordinaatit X, Y, Z) nimitystä EUREF-FIN.

Tiehallinto käyttää tällä hetkellä rinnan sekä YKJ- että EUREF-FIN_TM35-järjestelmää. Tiehallinnon nykyinen paikkatietojärjestelmä sisältää X- ja Y-koordinaattitiedot. Lisäksi käytössä on valtakunnallinen Digiroad-järjestelmä, joka sisältää X-, Y- ja Z-koordinaatit (Maanmittauslaitoksen muunnoksella EUREF-FIN-koordinaatistosta). Tiestömittauksissa käytetään tällä hetkellä vielä YKJ:ää.

WGS84 (World Geodetic System) on GPS-satelliittien käyttämä koordinaattijärjestelmä. WGS84 on Yhdysvaltain puolustushallinnon karttalaitoksen määrittelemä ja yhtyy noin metrin tarkkuudella EUREF-FIN-koordinaatistoon. Esimerkiksi vuosien 2003–2007 tiestömittauksissa on kerätty koordinaatit WGS-muodossa ja muunnettu KKJ:hin.

Kaikkien em. järjestelmien välille on tehty muunnoskaavat ja muunnosten tekemiseen löytyy ilmaiset muunnosohjelmat.

3.2 Korkeusjärjestelmä

Syyskuussa 2007 julkistettiin uusi kansallinen korkeusjärjestelmä N2000, joka korvaa N60-korkeusjärjestelmän, jossa korkeudet määritetään vuoden 1960 keskimerenpinnan korkeuden suhteen. N2000 on yleiseurooppalaisen korkeusjärjestelmän suomalainen realisaatio, joka on sidottu eurooppalaisissa korkeusjärjestelmissä käytettyyn Amsterdamin nollapisteeseen. Uudistuksen jälkeen esimerkiksi Suomen ja Ruotsin korkeusjärjestelmät ovat käytännössä yhtenevät.

Nämä korkeusjärjestelmät ovat kuitenkin lähinnä suunnittelun käytössä ja niillä ei ole yhteyttä GPS-koordinaattijärjestelmiin. Rambollin tiestömittausten yhteydessä saadaan Z-koordinaatti, mutta sen tarkkuus on heikko. Tiehallinnolla ei ole myöskään tarjota tarkkaa Z-koordinaattia tieosien jakopisteille.

3.3 GPS

Global Positioning System (GPS) on maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. Sitä ylläpitää Yhdysvaltain puolustusministeriö. Järjestelmän avaruusosa koostuu 24:stä GPS-satelliitista, jotka kiertävät kukin maapallon ympäri 2 kertaa vuorokaudessa kuudella eri radalla. Näin siis neljä satelliittia on aina samalla radalla. Radat ja satelliittien lukumäärä on suunniteltu niin, että GPS-vastaanottimen kuultavissa olisi jatkuvasti kaikkialla maapallolla vähintään viidestä kahdeksaan satelliittia, minkä määrän kerrotaan takaavan toimivan paikannuksen.

Koordinaattien mittaaminen vaatii oman GPS-vastaanottimen ja mittausjärjestelmän valmiuden kerätä koordinaattidataa.

3.4 DGPS-korjaus

Normaalin GPS:n tarkkuus ei useinkaan riitä. Sen vuoksi GPS-koordinaattien korjaamisessa käytetään korjauspalvelua, joka tunnetaan terminä DGPS (differentiaalinen GPS). Järjestelmän periaatteena on, että GPS-vastaanotin asennetaan tarkasti tunnettuun paikkaan, joka vertaa satelliitista saamaansa paikkatietoa tiedossa olevaan oikeaan paikkatietoon. Tästä vertailusta saadaan selville korjauskerroin, joka lähetetään radioteitse eteenpäin Radio Suomen lähetykseen salattuina RDS-ryhminä (Radio Data System). GPS:n saama paikkatieto korjataan em. korjauskertoimella. DGPS-järjestelmää käyttävä joutuu siis hankkimaan GPS-vastaanottimen lisäksi erillisen DGPS-vastaanottimen, josta saatavat korjaustiedot välitetään GPS-laitteeseen. RDS toimii USA:ssa, useissa Euroopan maissa ja Suomessa kaikilla Yleisradion kanavilla.

Digita jakelee DGPS-palvelua nimeltä FOKUS, jonka tarkkuudeksi ilmoitetaan alle 2 metriä. Palvelu on käytettävissä koko Suomen alueella. Pieniä paikallisia katveita lukuun ottamatta palvelun tavoittamattomiin jää vain joitakin Lapin raja-alueita. Katvealueita on kuitenkin mahdollista pienentää oikean tyyppisellä antennilla. Palvelun korjaustiedot lähetetään RDS-menetelmällä ULA-asemien Radio Suomen taajuuksien kautta koko Suomessa. Järjestelmä vaatii oman vastaanottimensa ja palvelu on maksullista. Palveluoperaattorina toimii Indagon Oy. Fokus-differentiaalipalvelu on käytössä myös Suomen ulkopuolella kaikissa niissä maissa, joissa käytetään Differential Corrections Inc:n (DCI) kehittämää DGPS-ratkaisua. Ruotsin ja Suomen kesken on sovittu myös tarkimman palveluluokan tarjoamisesta yhteisesti molempien maiden alueella liikkuville nimellä Baltic Service. FOKUS-palvelua kehitetään koko ajan ja se vaikuttaisi jatkuvan tulevaisuudessakin.

Myös Suomen Merenkululaitos ylläpitää korjausverkkoa, joka on hyödynnettävissä merialueilla, rannikolla ja myös Saimaalla. Palvelu liittyy kansainvälisiin merenkulun sopimuksiin ja on ilmaista. Ainoa lisäkustannus palvelun käytöstä muodostuu DGPS-vastaanottimen hankinnasta. Merenkululaitok-

sen ilmoituksen mukaan tällä järjestelmällä päästään n. 5 metrin tarkkuuteen sijainnissa.

Ruotsissa on käytössä EPOS-korjauspalvelu. Sen korjaustiedot välitetään Ruotsin Radion P3 ULA-verkossa. Baltic-liittymällä saa korjaustiedon 2 metrin tarkkuudella sekä Ruotsissa että Suomessa. Vuosien 2003–2007 PTM-mittauksissa on käytetty nimenomaan edellä mainittua korjauspalvelua. EPOS-korjauspalvelun palveluntuottaja on vaihtunut v.2007, mutta palvelu jatkuu entisellään.

4 ANALYYSIT MITTAUSTULOISTA

4.1 Tutkimusta varten mitatut tieosat

Automaattisen jakopisteen etsinnän avulla saatavien koordinaattitietojen keräykseen valittiin seuraavat tiepiirit:

- Uusimaa
- Kaakkois-Suomi
- Keski-Suomi
- Vaasa
- Lappi

Nämä tiepiirit edustavat kaikkia ilmansuuntia ja sijainteja Suomessa (etelä, itä, keskiosa, länsi, pohjoinen). Analyysien vertailuaineistoon otettiin lisäksi manuaalisen jakopisteen etsinnän kohteita Uudenmaan, Hämeen, Savo-Karjalan ja Oulun tiepiireistä. Mittaajien ohjeistuksena oli valita koordinaattien mittauksessa sellaisia tieosia, joilla on erityyppisiä jakopisteitä sekä kirjata koordinaattien mittauksen olosuhteet (tieosan tyyppi, säätila, lähellä oleva metsä jne.). Tutkimukseen kuuluvien tieosien koordinaattitiedot kerättiin normaalien PTM-tuotanto- ja kontrollimittausten yhteydessä kesällä 2007. Koordinaattien keräämisen lähtötietona (suunnittelukoordinaatti) käytettiin tietietokannan koordinaatteja. Koordinaatteja mitattiin seuraavin tavoin:

- Automaattinen jakopisteen etsintä yhteen kertaan
- Automaattinen jakopisteen etsintä toistettuna (kahteen kertaan)
- Manuaalinen jakopisteen etsintä toistettuna (kahteen kertaan)

Mitattujen teiden tieluokalla on datan laadun näkökulmasta oleellinen merkitys. Valta- ja kantatiet (päätiät) ovat yleensä paremmassa kunnossa kuin muut tiät. Sekä automaattisella että manuaalisella jakopisteen etsinnällä tehdyillä toistomittauksilla pääteitä ja muita teitä oli suurin piirtein yhtä paljon. Automaattisen ja manuaalisen jakopisteen etsinnän toistetut mittaukset eivät kuitenkaan kohdistuneet samoille tieosille. Toistetut, automaattisella jakopisteen etsinnällä mitatut tieosat jakautuivat seuraavasti:

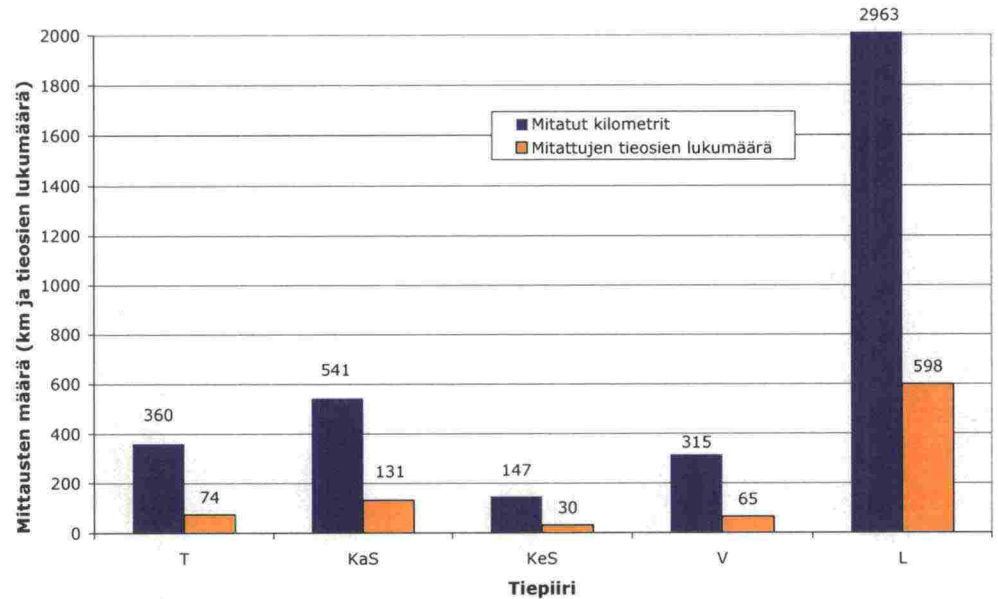
- Valtatiet 32,5 %
- Kantatiet 16,9 %
- Seututiet 27,0 %
- Yhdystiet 23,6 %

Toistetut, manuaalisella jakopisteen etsinnällä mitatut tieosat jakautuivat puolestaan:

- Valtatiet 43,6 %
- Kantatiet 6,0 %
- Seututiet 12,6 %
- Yhdystiet 37,8 %

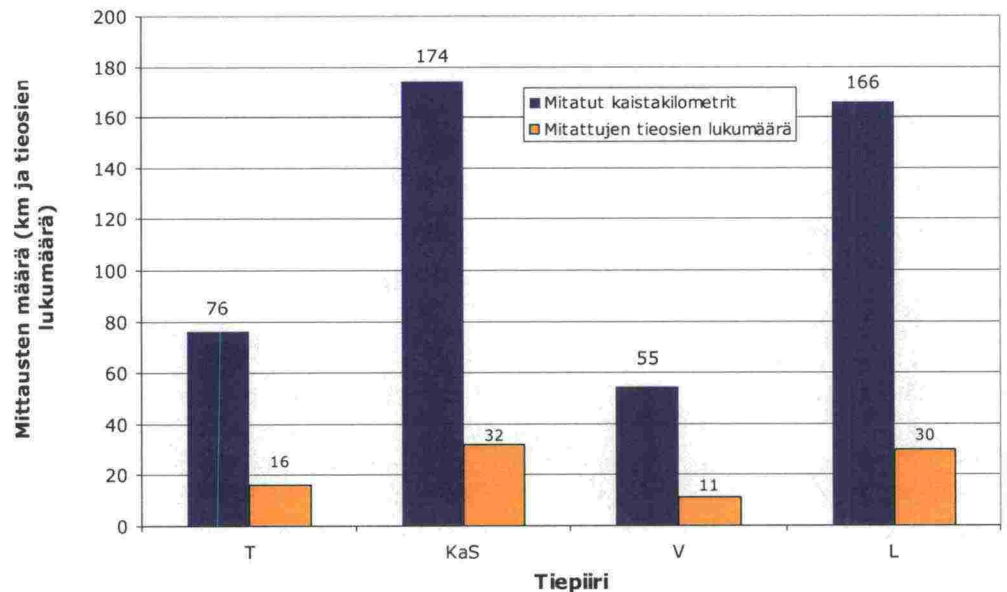
Koordinaattien keräys jakopisteen automaattisella etsinnällä onnistui sinänsä hyvin, kiireisistä tuotantoaikatauluista huolimatta. Sen sijaan mittaajien kirjauksia mittaolosuhteista ei saatu. Koordinaatteja mitattiin kaikkiaan 898 tieosalta (tieosapituutena 4 303 km) tieosien kasvusuuntaan. Kuvassa 2 on esitetty määrät tiepiireittäin. Lapin osalta määrä korostui, osaksi sen vuoksi,

että etukäteen ajatellen Lapin koettiin olevan satelliittien saatavuuden osalta epävarmin alue.



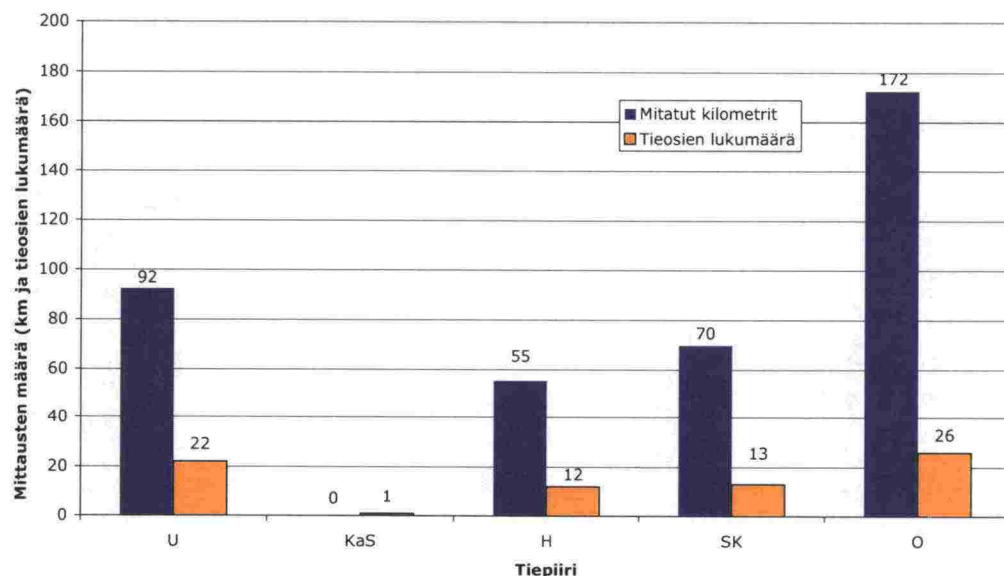
Kuva 2. Jakopisteen automaattisella etsinnällä tehtyjen mittausten jakautuminen tiepiireittäin.

Automaattisella jakopisteen etsinnällä tehtyjä koordinaattimittauksia toistettiin neljässä tiepiirissä kaikkiaan 89 tieosalla. Kuvassa 3 on esitetty toistettujen mittausten kilometrimäärä ja tieosien lukumäärä tiepiireittäin.



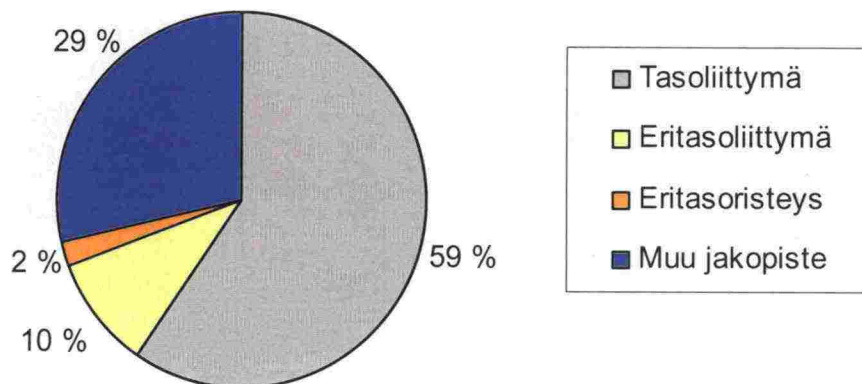
Kuva 3. Toistetun automaattisen jakopisteen etsinnän määrät eri tiepiireissä.

Vertailuja varten valittiin lisäksi kuuden tiepiirin alueelta manuaalisesti tehdyn jakopisteen etsinnän (toistetut mittaukset) tuloksena saatuja koordinaatteja 74 tieosalta. Muiden kuin tutkimukseen valittujen tiepiirien mittausten käyttö johtui siitä, että tutkimukseen valittujen viiden tiepiirin tuotanto/kontrolliparit käytettiin automaattiseen jakopisteen etsintään. Kuvassa 4 havainnollistetaan manuaalisesti tehdyn jakopisteen etsinnän määriä.

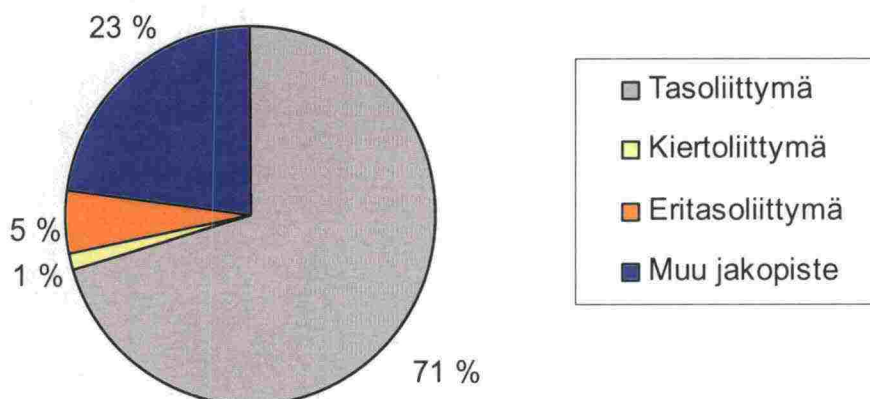


Kuva 4. Toistetun manuaalisen jakopisteen etsinnän määrät eri tiepiireissä.

Tierekisteritietojen perusteella voitiin määritellä jakopistetyypit mitatuilta tieosilta (toistetut mittaukset). Kuvien 5 ja 6 mukaan suuri osa tieosien jakopisteistä oli tasoliittymiä. Muita jakopisteitä oli myös suuri osa (näihin sisältyi lähinnä vesistösiltoja, yksityistieliittymiä ja kunnanrajoja). Eritasoliittymiä tai eritasoristeys oli pieni määrä ja nekin valtaosaltaan sillan päällä olevia jakopisteitä. Toisin sanoen, jakopisteen automaattisen ja manuaalisen etsinnän toistetuissa mittauksissa jakopistetyypit olivat koordinaattien mittaamisen kannalta samantapaisia ja näin vertailukelpoisia.



Kuva 5. Erialaisten jakopisteiden määrät jakopisteen automaattisen etsinnän toistetuilla tieosilla.



Kuva 6. Erilaisten jakopisteiden määrät jakopisteen manuaalisen etsinnän toistetuilla tieosilla.

4.2 Koordinaattien saatavuus

GPS-mittauksen saatavuus ja tarkkuus määräytyvät seuraavista tekijöistä: [Digita]

- Virhe satelliittien etäisyyden mittaamisessa (avaruustaso)
- Satelliittigeometrian aiheuttama epävarmuus (avaruustaso)
- Ilmakehä (käyttäjätaso)
- Vastaanottimen sisäinen virhe (käyttäjätaso)
- Mittausympäristö, esim. radioaaltoja hyvin heijastavat suuret johdepinnat mittauspaikan läheisyydessä (käyttäjätaso)

DGPS-korjauksella pystytään poistamaan suurin osa näistä virheistä. Palvelujen käyttäjä näkee koordinaattien saatavuuden ja laadun seuraavista tunnusluvuista:

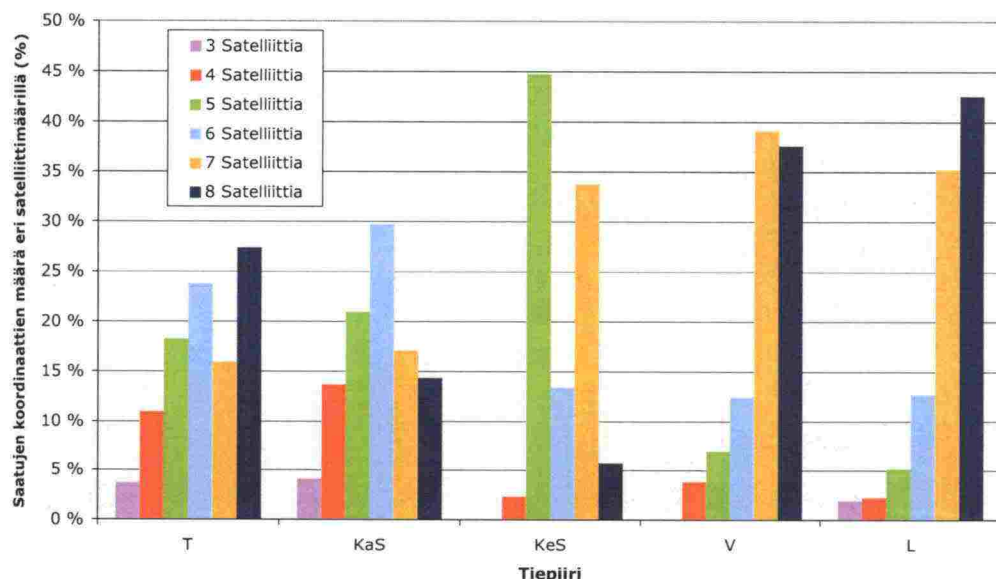
- Satelliittien määrä
- DGPS-korjauksen saatavuus
- DOP-arvo

Erilaisia DOP-arvoja ovat HDOP (Horizontal Dilution of Precision eli horisontaalisen tarkkuuden poikkeama), VDOP (Vertical Dilution of Precision) ja PDOP (Position Dilution of Precision). Tässä selvityksessä on ollut käytössä HDOP. HDOP-arvo ilmoittaa GPS-paikkatiedon laadun. Mitä enemmän satelliitit ovat hajallaan eri puolilla taivasta, sitä parempi on geometria ja sitä pienempi HDOP-arvo. Siis mitä pienempi HDOP-arvo, sitä tarkempaa GPS-paikkatieto on. Tyypillisesti HDOP on luokkaa 0,9–3,0 (yksikötön). HDOP-arvoja esitellään koordinaattien toistettavuuteen liittyen luvussa 4.3.

Kuvassa 7 on esitetty jakopisteen automaattisella etsinnällä tehtyjen koordinaattimittausten (kaikki koordinaattimittaukset) satelliittien määrä tiepiireittäin. Käytössä olleiden satelliittien määrät ovat parhaita Lapin ja Vaasan tiepiirien alueilla (esimerkiksi 7–8 satelliitin osuudet ovat selkeästi parhaita). Yleisen hahmotelman mukaan tulisi siis olla vähintään 5 satelliittia, mikä ta-

kaa koordinaattien hyvän laadun. Lapissa ja Vaasassa on 5–8 satelliitin osuus ollut n. 96 %, Keski-Suomessa 98 %, Turussa 85 % ja Kaakkois-Suomessa 82 %. Kaiken kaikkiaan satelliittimäärät ovat hyviä.

Liitteessä 1 on havainnollistettu kuvan 7 satelliittien määrät Suomen kartalla. Tästä esitystavasta havaitaan selkeästi Kaakkois-Suomen ja Turun tiepiirien hiukan pienemmät satelliittimäärät.



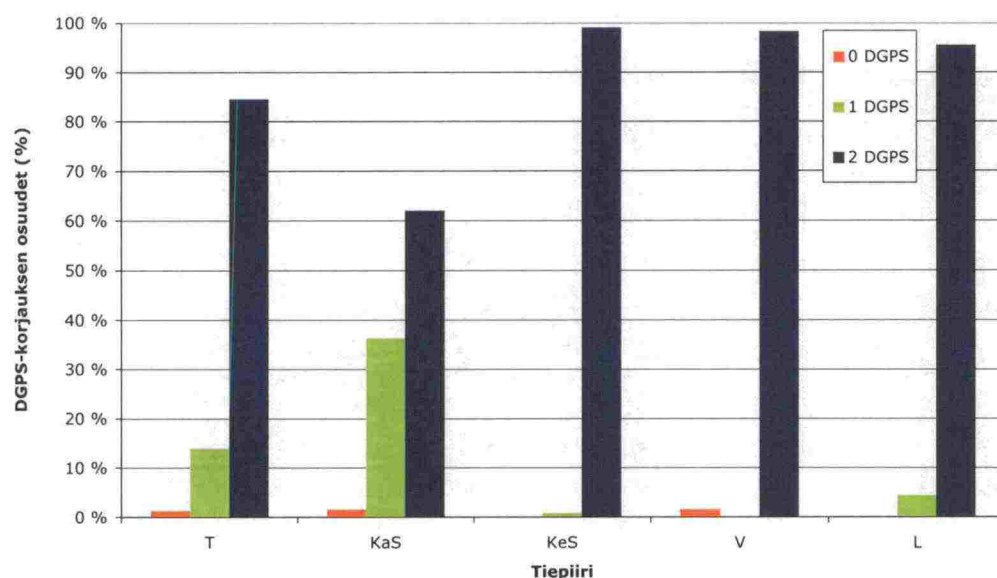
Kuva 7. Saatujen koordinaattien määrä tiepiireittäin, käytössä olleiden satelliittien määrän mukaan jaoteltuna.

DGPS-korjauspalvelun saatavuus on esitetty kuvassa 8. DGPS:n numeroarvot kuvaavat seuraavia tilanteita:

- DGPS 0 = GPS-yhteys (satelliittien saatavuus) on huono, minkä vuoksi koordinaatit ovat epäluotettavia
- DGPS 1 = GPS-yhteys on hyvä, mutta DGPS-korjausta ei ole saatavissa
- DGPS 2 = GPS-yhteys on hyvä ja DGPS-korjaus on saatavissa

Kuvan 8 mukaan DGPS-korjauksen saatavuus on erittäin hyvä Keski-Suomen, Vaasan ja Lapin tiepiirien alueilla ja Turussa melko hyvä. Sen sijaan Kaakkois-Suomessa on ongelmia DGPS-korjauksen saatavuuden kanssa (62 %:lla mitatuista koordinaateista palvelu oli saatavissa). Erittäin positiivista on kuitenkin se, että huonoa GPS-yhteyttä (DGPS=0) esiintyi erittäin vähän.

Liitteessä 2 havainnollistetaan DGPS-määriä Suomen kartalla. Kartasta havaitaan mainittu ongelma Kaakkois-Suomen tiepiirin osalta. Lisäksi aivan ylhäällä Lapissa on joiltakin tieosilta DGPS-korjaus jäänyt puuttumaan (GPS on saatu).



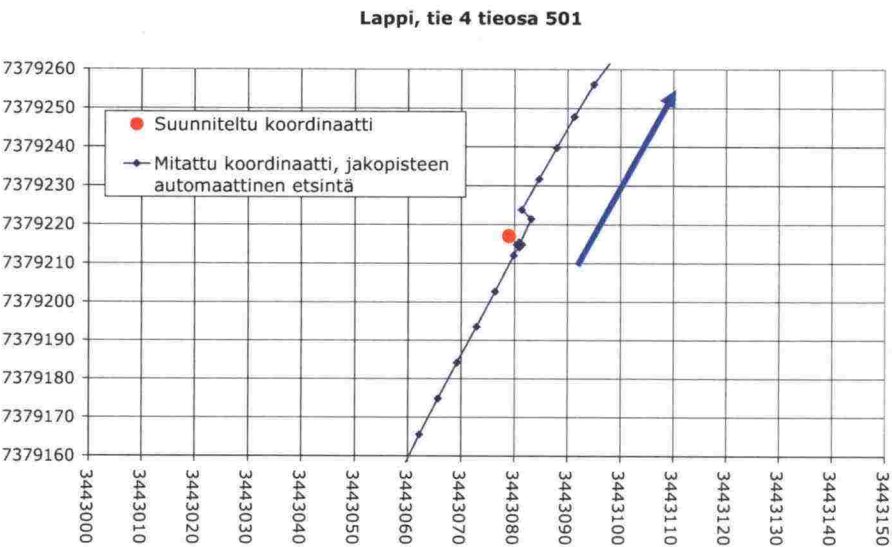
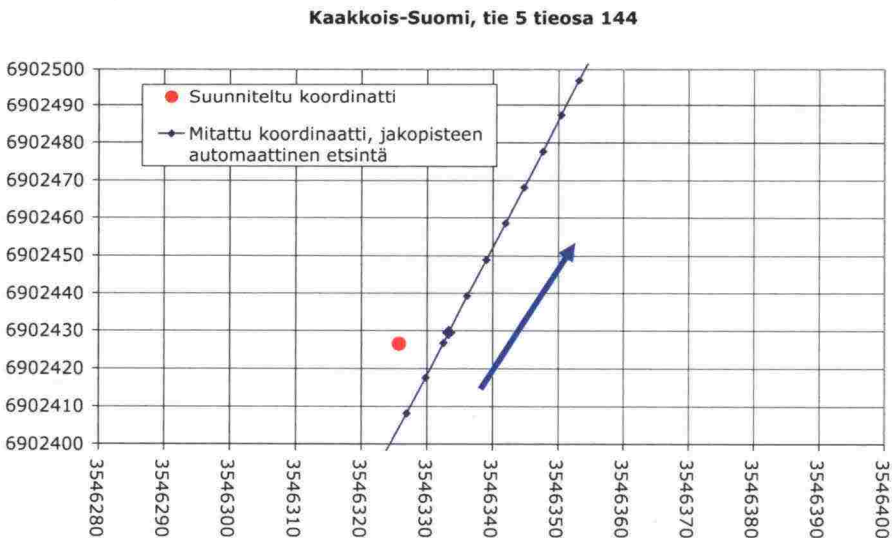
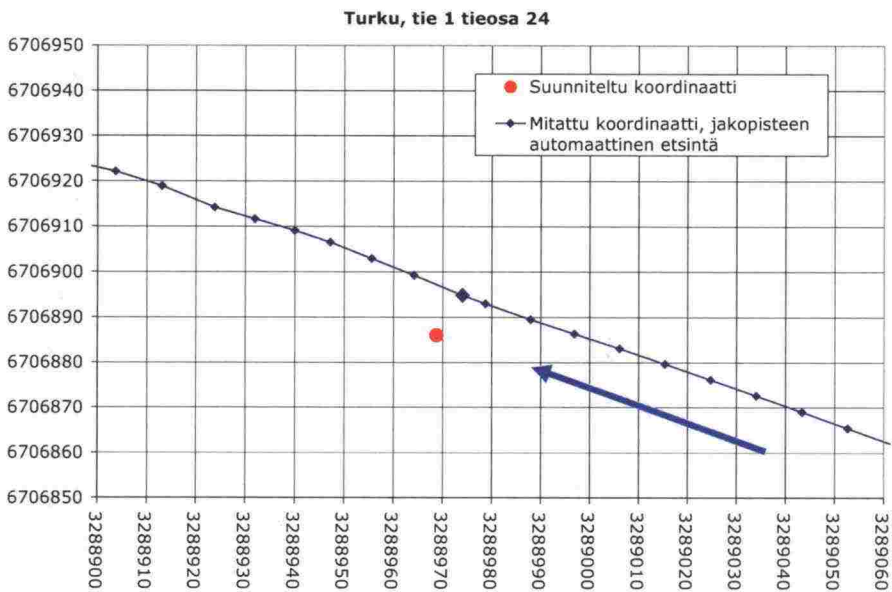
Kuva 8. DGPS-korjauspalvelun määrät tiepiireittäin.

Edellä kuvattujen teknisten asioiden lisäksi koordinaattien saatavuus voi huonontua seuraavien seikkojen vaikutuksesta:

- Jakopisteen tyyppi
- Säätila mitattaessa
- Jakopisteen lähellä oleva metsäalue tai rakenteet

Jakopistetyyppien osalta ainoa koordinaattien saatavuutta mahdollisesti huonontava voi olla eritasoristeys tai eritasoliittymä, jossa jakopiste on sillan alla. Tieräkisterin tietojen perusteella Suomessa on kuitenkin vain 121 kappaletta tällaisia jakopisteitä. Tästä kokonaismäärästä osui 10 kappaletta tämän tutkimuksen koordinaattien mittaukseen. Kuvan 9 koosteessa on esimerkit kolmen tiepiirin alueella olevista mittauksista (Turku, Kaakkois-Suomi, Lappi). Tulokset ovat yllättävän hyviä. Kaikissa kymmenessä tapauksessa saatiin automaattisen etsinnän koordinaattipiste, joka sijaitti lähellä suunniteltua koordinaattipistettä ja useat mitatut pisteet olivat kahden metrin sisällä suunniteltuun koordinaattiin verrattuna.

Kuvassa 9 havaitaan myös tyypillinen tilanne, jossa suunniteltu koordinaattipiste on esimerkiksi 10 metrin päässä mitattavasta tiekaistasta (jakopisteen kohta suuremmalla merkillä). Ainoan erikoisuuden kuvassa tarjoaa tien 4 tieosan 501 (Lappi) koordinaattimittaus, jossa on pian jakopisteen jälkeen 2 metrin sivuttaissiirtymä. Tämä voi olla todellinen liikennetilanne, esimerkiksi hitaamman liikenteen ohituksen vuoksi tai vaihtoehtoisesti siltarakenteesta johtuva koordinaattien pieni virhe.

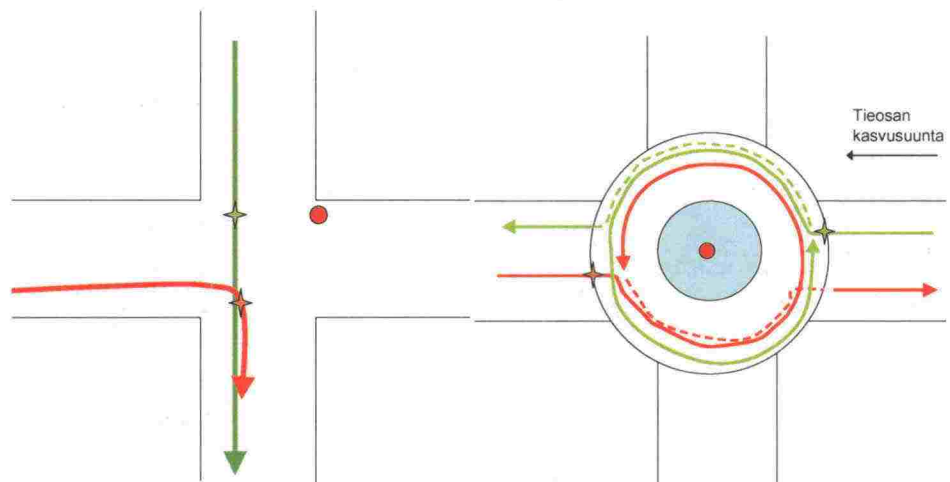


Kuva 9. Esimerkkejä jakopisteen automaattisen etsinnän koordinaateista sillan alla olevilla jakopisteillä. Sininen nuoli ilmaisee mittaussuunnan.

Mitattujen kymmenen sillan alla olevan jakopisteen koordinaattien saatavuudessa ei siis ollut ongelmia. Siltojen koosta ei ollut käytössä tietoja ja voidaankin spekuloida, aiheuttaako leveä silta ongelmia GPS-saatavuuden osalta.

Tieosan tyyppiin liittyy myös se, millä tavoin mittaaja lähestyy ajoneuvolla jakopistettä. Kuvassa 10 on havainnollistettu jakopisteen automaattisen etsinnän sijaintipistettä, jos lähestytään tasoliittymää eri suunnasta tai vastavasti jos lähestytään kiertoliittymää eri suunnista. Molemmissa tapauksissa syntyy ero kahden eri mittauksen välillä.

Tasoliittymän tapauksessa kuvan 10 vihreä nuoli on oikeampi tapa aloittaa tieosan mittaus, ja jos saavutaan punaisen nuolen suunnasta, tulisi kääntyä liittymässä vasemmalle ja tulla takaisin vihreän nuolen suuntaisesti. Kiertoliittymän tapauksessa mittaus alkaa päätien liittymäkohdasta, ympyrä mitataan kokonaan, minkä jälkeen mittaus katkaistaan ja mittausta jatketaan päätien suunnassa. Punainen nuoli kuvaa tässä ehdottomasti väärää tapaa (jos oletetaan, että mittaus tapahtuu tällöin tieosan kasvusuuntaa vastaan), koska kiertoliittymän mittaus alkaa väärästä pisteestä.



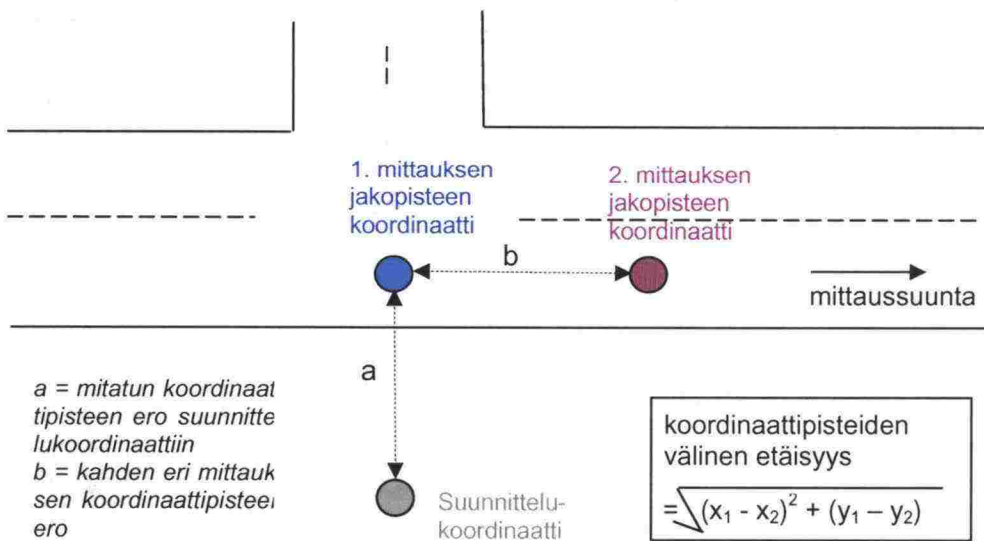
Kuva 10. Koordinaattipisteen ero kahdessa eri mittauksessa, jos lähestytään jako pistettä eri suunnista.

Säätilan ja metsäalueiden vaikutus jakopisteen automaattiseen etsintään jäi tutkimatta mittaajien kommenttien puuttuessa. Nämä seikat tulisikin tutkia tulevinä vuosina.

4.3 Koordinaattien toistettavuus

Toistettavuutta koskevista analyyseistä esitetään vertailuja eri tavoin saatujen koordinaattipisteiden välillä. Näiden koordinaattipisteiden ja niiden erojen käsitteitä selvennetään kuvassa 11. Periaatteessa vertailuja on kolmea eri tyyppiä:

- 1. mittauksen koordinaattipisteen vertaaminen suunnittelukoordinaattiin (laskentatapa a)
- 1. ja 2. samalla paikannusmenetelmällä (automaattinen tai manuaalinen) tehdyn mittauksen vertailu keskenään (laskentatapa b)
- Kahdella eri paikannusmenetelmällä tehdyn (automaattinen ja manuaalinen) mittauksen vertailu keskenään (laskentatapa b)

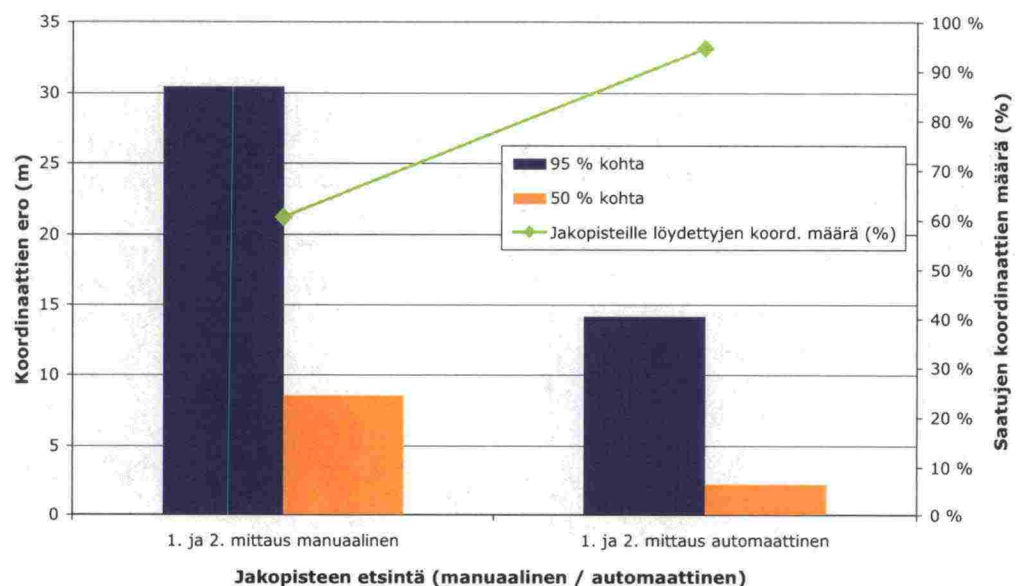


Kuva 11. Koordinaattipisteiden eroja kuvaavat mitat (tieosan jakopisteellä).

Koordinaattien toistettavuutta tutkittiin seuraavilla analyyseillä:

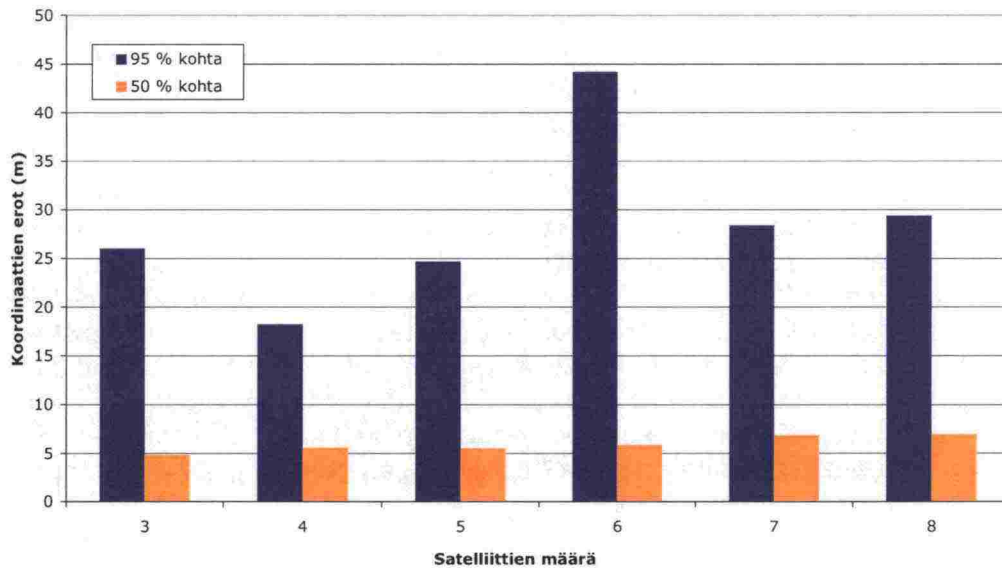
- Jakopisteen automaattisella ja manuaalisella etsinnällä löydettyjen koordinaattipisteiden ero (laskentatapa b)
- Suunniteltujen ja jakopisteen automaattisella etsinnällä mitattujen koordinaattien ero satelliittimäärien suhteessa (laskentatapa a)
- Suunniteltujen ja jakopisteen automaattisella etsinnällä mitattujen koordinaattien ero jakopisteiden määrän suhteessa (laskentatapa a)
- Jakopisteen automaattisella etsinnällä toistettujen koordinaattimittausten ero (laskentatapa b)
- Jakopisteen automaattisen etsinnällä toistettujen koordinaattimittausten HDOP-arvo (suoraan mittauksesta saatava laatu-arvo, laskentatapa b)

Päällystettyjen teiden kuntomittausten laadun toteutumien esittämisessä käytetään vakiintunutta tapaa, jossa kahden mittaustuloksen välinen ero ja toteutuneen laadun hyvyys esitetään niiden jakauman ja jakaumasta valittujen 50 % ja 95 % pisteiden avulla (ns. laatukäyrä). Edellä mainittua menetelmää soveltaen voidaan havaita, että toistettavuuden ero jakopisteen koordinaattien automaattisen etsinnän ja manuaalisen etsinnän välillä on ilmeinen. Tutkimukseen valitussa tieosaotoksessa jakopisteen automaattinen etsintä parantaa paikannustarkkuutta manuaaliseen verrattuna selvästi. Kuvassa 12 näkyvä vihreä viiva osoittaa, kuinka suurella osuudella jakopisteistä koordinaattitiedot ovat rekisteröityneet mittaussjärjestelmään. Jakopisteen koordinaatti on saatu automaattisella etsinnällä 95 % tieosista ja manuaalisella vain 61 %:lla. Tässä siis joko 1. tai 2. mittauksessa koordinaatin saanti on epäonnistunut, harvoin kuitenkaan molemmilla kerroilla. Yhteensä mitattujen automaattisen etsinnän koordinaattien saanti oli vielä parempaa, yli 99 % koordinaateista saatiin.



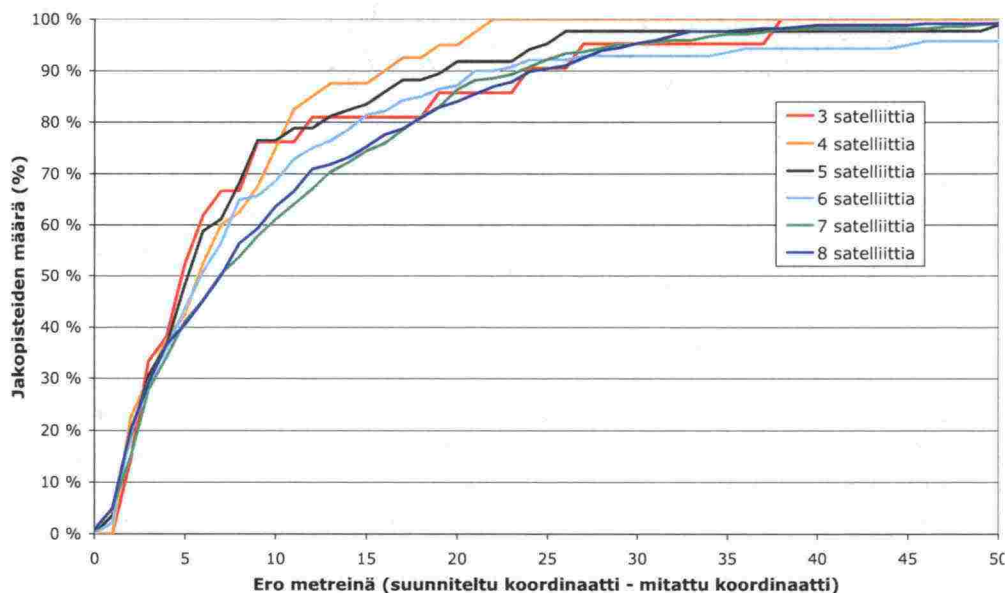
Kuva 12. Jakopisteen etsintätavan vaikutus toistettujen koordinaattien eroihin. Vihreä viiva osoittaa tason (%), jolla koordinaatit on saatu jakopisteeltä rekisteröityä mittaussjärjestelmään.

Suunniteltujen ja mitattujen jakopisteen automaattisella etsinnällä saatujen koordinaattien ero eri satelliittimäärillä (kuva 13) on yllättävän tasainen jakauman 95 % ja 50 % pisteissä. Pienemmillä satelliittimäärillä ero on jopa pienempi kuin suuremmilla satelliittimäärillä. **Tämän mukaan 3 tai 4 satelliittia siis antaa yhtä tarkan tuloksen kuin vähintään 5 satelliittia.**



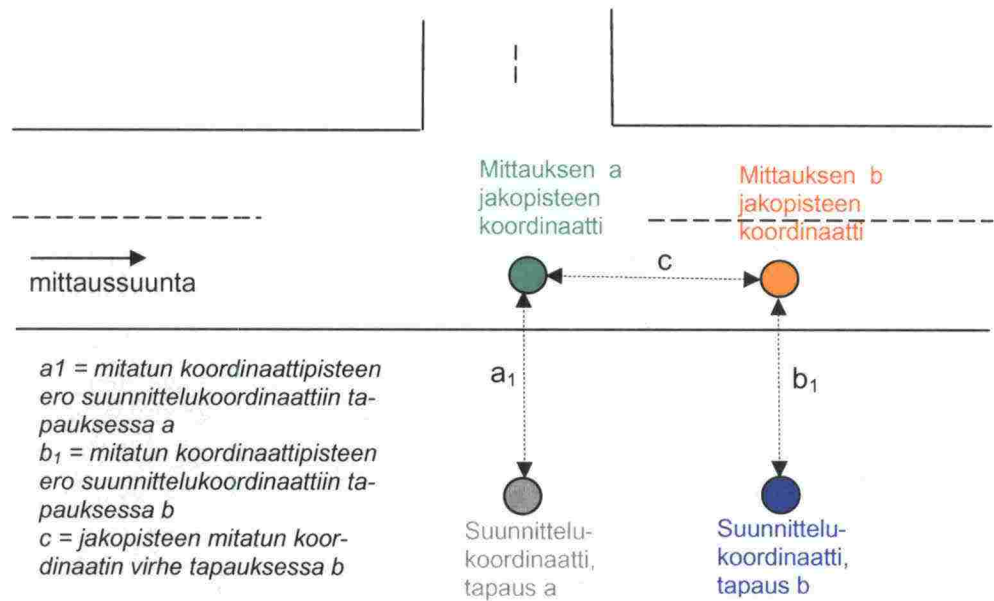
Kuva 13. Suunniteltujen ja automaattisella etsinnällä mitattujen koordinaattipisteiden ero erilaisilla satelliittimäärillä, erojen jakauman 95 % ja 50 % pisteissä.

Suunniteltujen koordinaattien ja jakopisteen automaattisella etsinnällä mitattujen koordinaattien ero erilaisilla satelliittimäärillä suhteessa jakopisteiden määrään (kuva 14) tarjoaa samansuuntaisen tuloksen kuin kuvassa 13. Tämä tulos kertoo itse asiassa suunnittelukoordinaattien (tietietokanta) tarkkuudesta. Tietietokannan koordinaattipiste on sijoitettu tien keskelle, mikä tuo jo sinällään muutaman metrin eron mitattuun koordinaattiin. Useissa tapauksissa tietietokannan koordinaattipiste on kuitenkin tien reunassa tai jopa tiepoikkileikkauksen ulkopuolella.



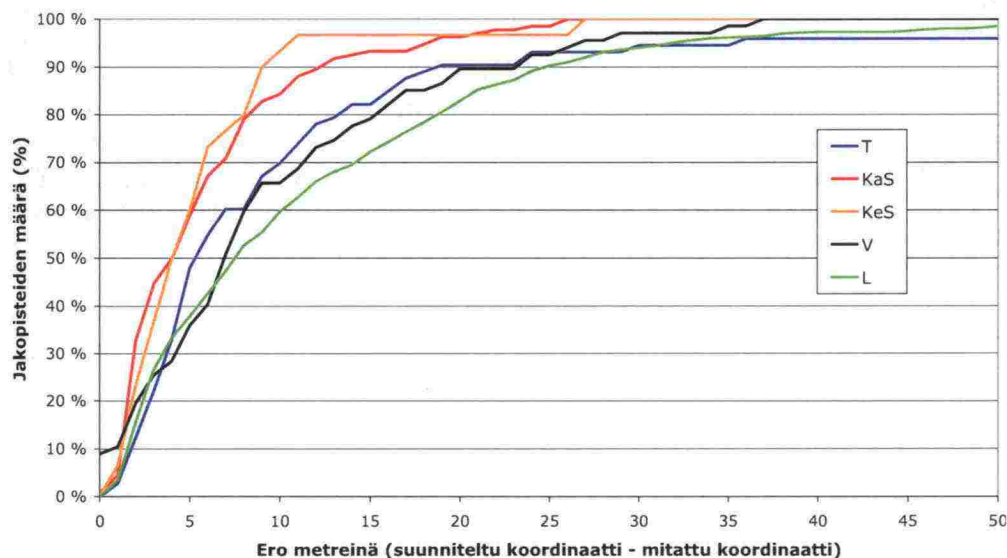
Kuva 14. Suunniteltujen ja jakopisteen automaattisella etsinnällä mitattujen koordinaattien ero eri satelliittimäärillä, jakopisteiden määrän suhteen.

Periaatteessa automaattinen koordinaattien etsintä hakee suunnittelupistettä lähimmän koordinaattipisteen. Tässä mielessä suunnittelukoordinaatin ei välttämättä tarvitse sijaita tien keskellä, kunhan se sijaitsee suorakulmaisesti todellisen jakopisteen kohdalla. Kuvassa 15 hahmotetaan suunnittelukoordinaatin (tietietokanta) hyvää ja huonoa sijaintia, verrattuna todelliseen jakopisteen kohtaan. Esitetyistä kahdesta tapauksesta mittaus a ei tuo virhettä, koska suunnittelukoordinaatti sijaitsee suorakulmaisesti todellisen jakopisteen kohdalla.



Kuva 15. Jakopisteen automaattisella etsinnällä mitattu koordinaatti kahdessa eri tapauksessa.

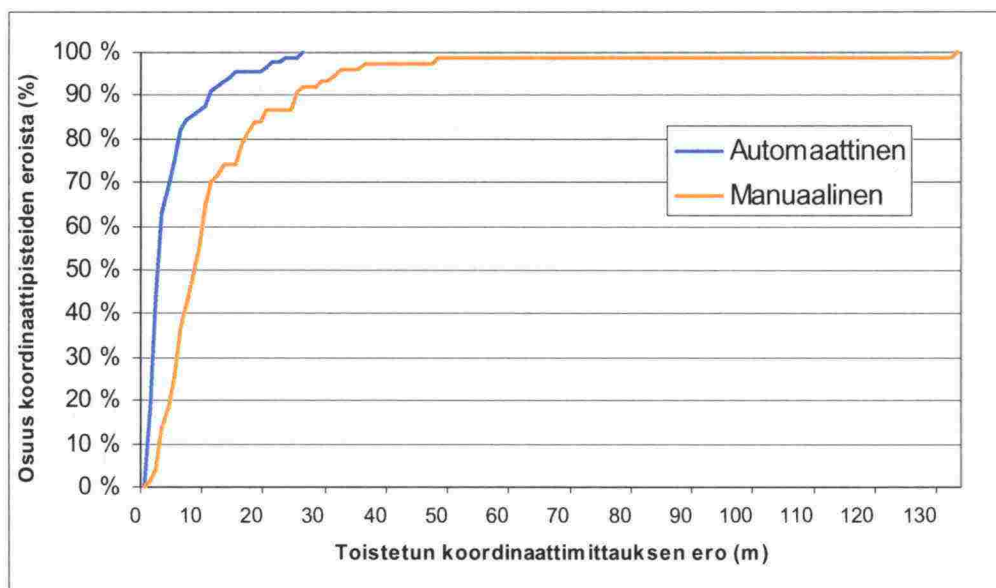
Kuvassa 16 on esitetty tiepiireittäin jakopisteen automaattisella etsinnällä mitattujen koordinaattien ja suunniteltujen koordinaattien välinen ero. Kuvasta havaitaan, että Keski-Suomessa ero on pienin ja Lapissa suurin. Kuvan 16 ohella myös kuva 14 antoi viitteitä tietietokannan koordinaattien tarkkuudesta.



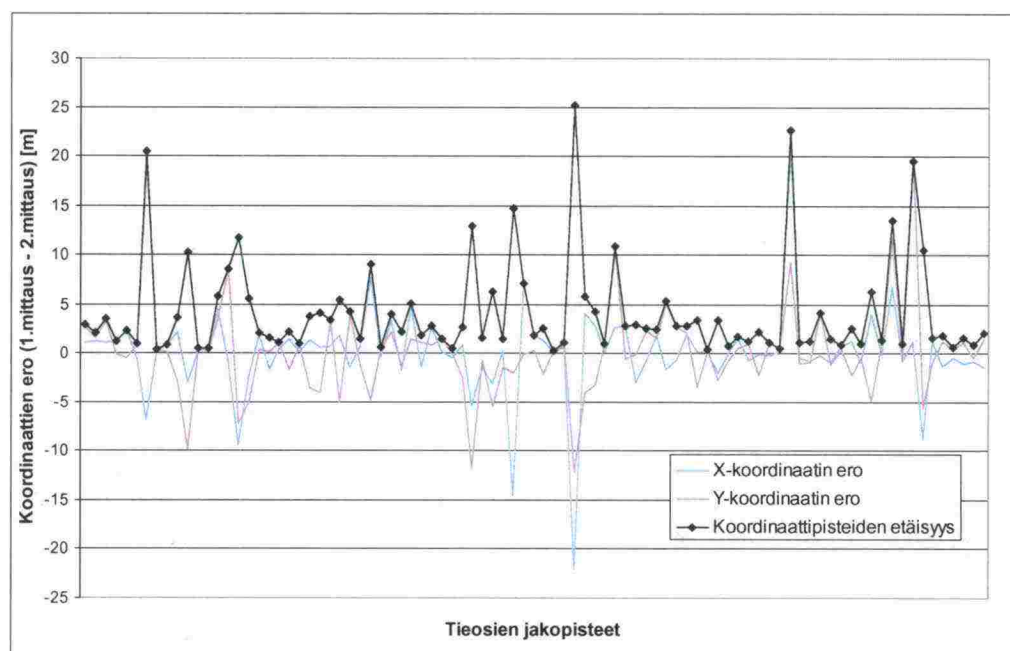
Kuva 16. Jakopisteen automaattisella etsinnällä mitattujen koordinaattien ero tiepiireittäin verrattuna suunniteltuun koordinaattiin, suhteessa jakopisteiden määrään.

Toistettujen automaattisella etsinnällä saatujen koordinaattipisteiden erot ovat selkeästi pienempiä verrattuna manuaaliseen menetelmään, kuten havaitaan kuvasta 17. Kuvasta nähdään myös, että manuaalisella menetelmällä koordinaattipisteiden erot voivat olla todella suuria inhimillisen virheen vuoksi.

Koordinaattien automaattisen etsinnän otoksesta löytyy 11 havaintoa, joissa jakopisteen automaattisella etsinnällä toistettujen mittausten ero on yli 10 metriä (kuva 18). Kyseiset 11 kappaletta yli 10 m eroja sijoittuvat lähinnä tasoliittymiin, eikä niihin sisälly esimerkiksi siltojen alla olevia kohteita.

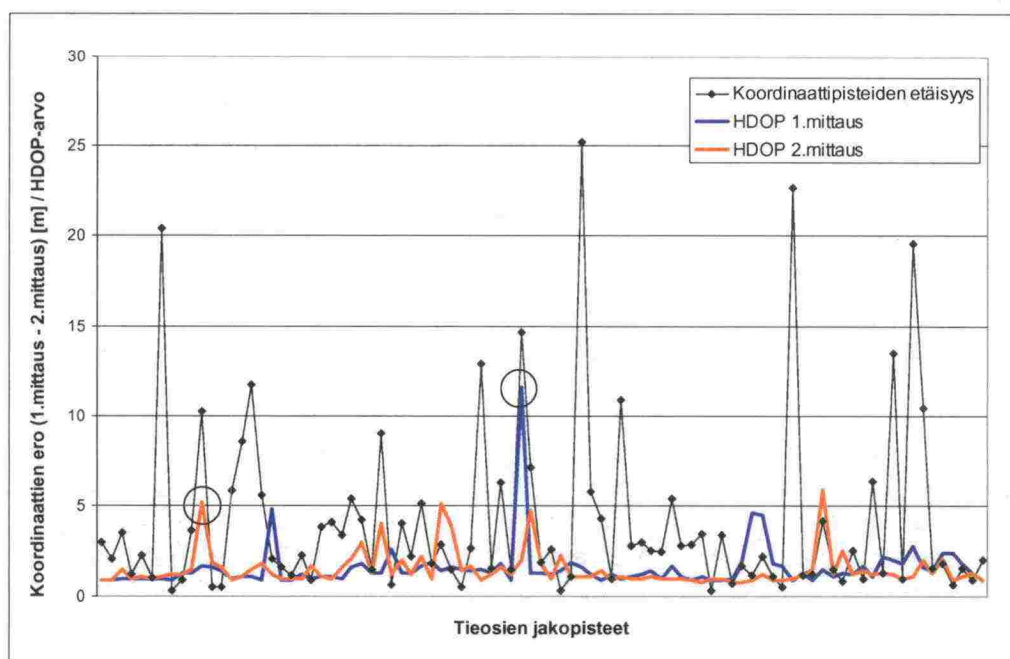


Kuva 17. Toistettujen automaattisella ja manuaalisella koordinaattien etsinnällä saatujen koordinaattipisteiden erojen osuudet.



Kuva 18 Koordinaattien erot jakopisteen automaattisella etsinnällä toistetuissa mittauksissa. Koordinaattipisteiden etäisyys on esitetty itseisarvona.

HDOP-arvo ilmoittaa GPS-paikkatiedon laadun, kuten edellisessä luvussa kerrottiin. Tyypillisesti HDOP on luokkaa 0,9–3,0. Kuvassa 19 on esitetty jakopisteen automaattisen etsinnän toistettujen mittausten HDOP-arvot. Kuvan perusteella 11 koordinaattipisteestä, joilla on vähintään 10 m ero, vain kahdessa (ympyröidyt kohdat) ovat HDOP-arvot korkeampia kuin 3,0. Tässä mielessä HDOP ei selitä kaikkia yli 10 metrin eroja.



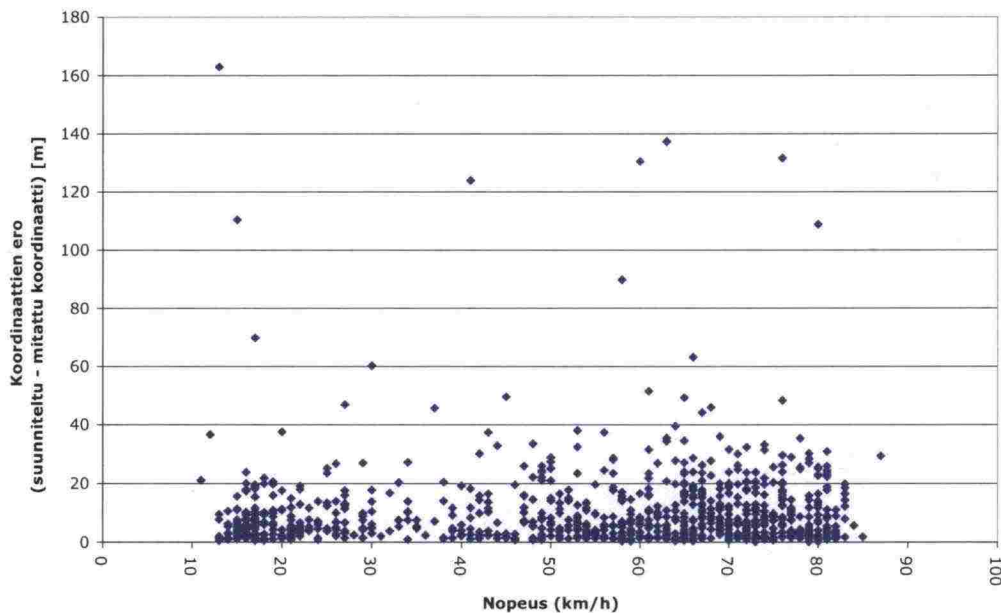
Kuva 19. Jakopisteen automaattisen etsinnällä toistettujen koordinaattimittausten HDOP-arvot verrattuna koordinaattipisteiden eroihin. Koordinaattipisteiden etäisyys on sama käyrä kuin kuvassa 18.

Kuvan 19 keskellä olevan jakopisteen erittäin suuri HDOP-lukema (11,6) on voinut vaikuttaa kyseisen kohdan suureen koordinaattieroon. Sen sijaan kuvasta havaitaan kuudessa jakopisteessä HDOP-arvo $>3,0$, joilla ei ole ollut vaikutusta koordinaattieroon.

Liitteessä 3 on havainnollistettu jakopisteen automaattisen etsinnän (kaikki koordinaattimittaukset) HDOP-arvoja Suomen kartalla. Kartasta havaitaan, että HDOP-arvoja >3 melko vähän ja suurin osa näistä sijoittuu Kaakkois-Suomen ja Turun tiepiirien alueelle.

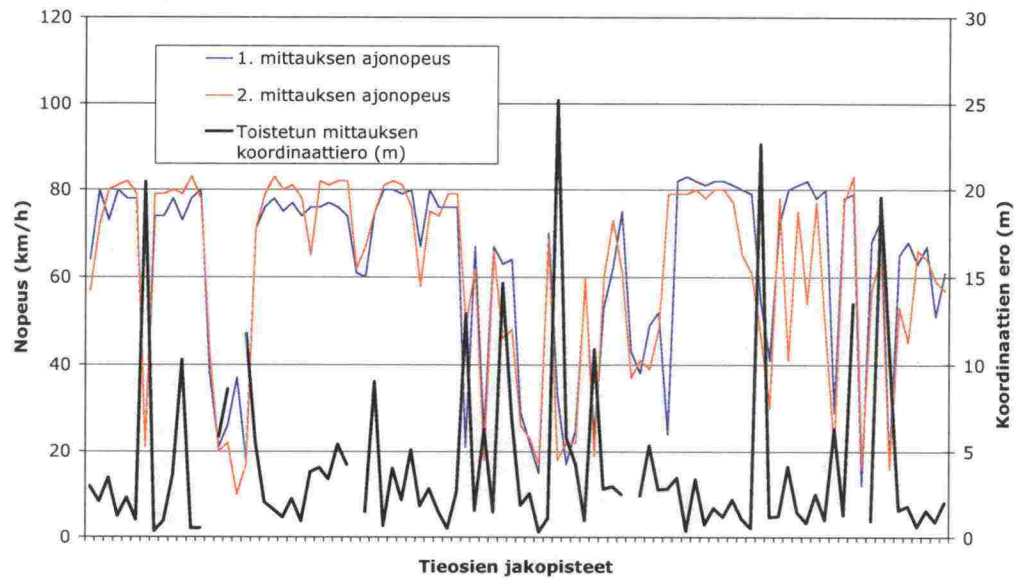
4.4 Ajonopeuden vaikutus

Tiestömittauksen ajonopeuden vaikutusta tutkittiin mittauksessa automaattisesti kirjautuvan nopeuden (jakopisteellä) sekä suunnitellun ja mitatun koordinaatin eron avulla. Kuvasta 20 havaitaan, että mittausaineistosta löytyy muutamia suuria koordinaattipisteiden eroja, mutta niitä esiintyy sekä hiljaisilla että tavallisilla liikennenopeuksilla 60–90 km/h. Erilaiset ajonopeudet eivät siis vaikuta suurien koordinaattierojen syntymiseen. Kuvan koordinaattipisteet sisältävät kaikki automaattiset jakopisteen etsinnät.



Kuva 20. Ajonopeuden vaikutus suunnitellun ja jakopisteen automaattisella etsinnällä mitatun koordinaatin eroon.

Kuvassa 21 ajonopeus jakopisteellä sekä jakopisteen automaattisen etsinnän koordinaattierot on esitetty toistetuille mittauksille. Mielenkiintoista on, että suurin osa suurista koordinaattieroista (>10 m) on syntynyt silloin, kun jakopisteen kohta on mitattu alhaisella ajonopeudella (20–50 km/h). Määrällisesti 8 kpl nopeuksilla 20–50 km/h ja 3 kpl nopeudella 70–80 km/h. Määrät ovat kuitenkin niin pieniä, ettei pitkälle meneviä päätelmiä voi tehdä. Ensimmäisen ja toisen mittauksen ajonopeudet ovat sinällään melko lähellä toisiaan lähes kaikissa tapauksissa.

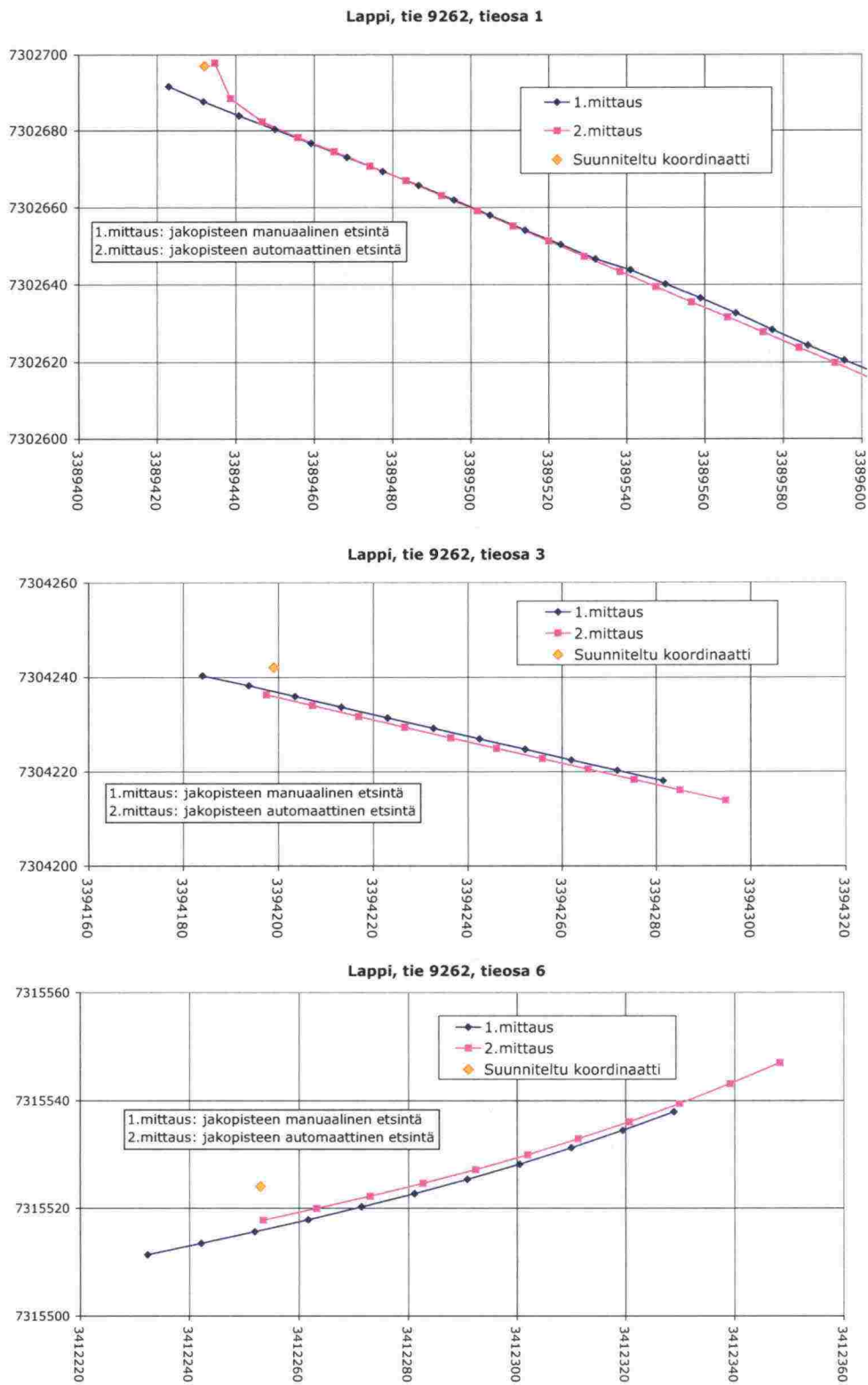


Kuva 21. Ajonopeuden vaikutus toistetun jakopisteiden automaattisen etsinnän koordinaattieroon.

4.5 Datan erot eri mittaustavoilla

Kuten edellisten lukujen analyysistä havaittiin, on jakopisteiden automaattisen ja manuaalisen etsinnän paikannustarkkuuden välillä selkeä laatuero, joka syntyy suoraan jakopisteiden sijainnin eroista eri mittaustavoilla. Sijaintiero vaikuttaa myös dataan, riippuen siitä missä kunnossa tien pinta on. Jakopisteiden toistettavuus on sitä tärkeämpää, mitä huonokuntoisempi tie on. Kuvassa 22 on kooste kolmesta automaattisella ja manuaalisella etsinnällä mitatuista jakopisteistä Lapin tiepiirissä. Erityisesti kahden alimmaisien jakopisteiden määrittämisessä on selkeä ero.

Datan laadun näkökulmasta on mitattujen teiden tieluokalla oleellinen merkitys. Valta- ja kantatiet ovat yleensä paremmassa kunnossa kuin muut tiet. Automaattisella ja manuaalisella jakopisteiden etsinnällä mitattujen tieosien tieluokat jakautuivat samalla tavalla, kuten luvussa 4.1 kerrottiin. Tässä mielessä näiden mittaustapojen laadun vertaaminen toisiinsa antaa melko hyvän kuvan tilanteesta. Toisaalta täysin optimaalisen laatueroon saamiseksi molempien mittaustapojen olisi pitänyt kohdistua täysin samoille tieosille.



Kuva 22. Esimerkkejä automaattisella ja manuaalisella jakopisteen etsinnällä mitattujen jakopisteiden sijainnin eroista.

Taulukossa 1 havainnollistetaan 10 m dataan syntyvää eroa muutamalla esimerkkiparametrilla, kun jakopisteen määrittämisen ero kahden eri mittauksen välillä on 20 metriä (tie 9262, tieosa 6). Harmaalla värjättyjen sarakkeiden kuntomuuttujien arvot ovat peräisin mittauksesta, jossa jakopiste on etsitty manuaalisesti. Vastaavasti valkoisten sarakkeiden arvot on saatu käyttäen jakopisteen automaattista etsintää. Harmaalla värjätty parametrien arvot kulkevat luonnollisesti n. 20 m edellä toisen mittauksen arvoja. Esimerkiksi IRI oikean arvoa 6,01 ei voi löytyä toisesta mittauksesta, koska siinä ei ole mitattu kyseistä kohtaa. Periaatteessa arvo voisi olla kuinka suuri tahansa. Taulukkoon sijoitetut katkoviivat kuvaavat IRI:n ja maksimiuran osalta, mitkä 10-metriset ovat itse asiassa suurin piirtein samalla kohdalla.

Automaattinen jakopisteen paikannus parantaa erityisesti 2-suunnan mittauksen 10 metrin datan laatua. Suuntien 1 ja 2 mittauksen 10 m jaksot ovat tällöin tieosoitteelta tarkemmin kohdallaan, mikä mahdollistaa paremmin tietyn tieosan 10 m datan tarkastelun saman tienkohdan eri kaistoilla.

Tutkittavassa aineistossa 20 metrin ero jakopisteen sijainnissa ei juuri vaikuta 100 metrin dataan (taulukko 2), koska yksittäisten 10-metrinen vaikutus 100 metrin kuntokeskiarvoon on kuntomuuttujien normaaleilla arvoalueilla melko pieni.

Taulukko 1. Esimerkki 10 m datan eroista, kun jakopisteen sijainnin ero on 20 m kahden eri mittauksen välillä (tie 9262, tieosa 6).

Alku	Loppu	IRI oik	IRI oik	IRI vas	IRI vas	Max ura	Max ura	RMS10-30	RMS10-30	Sivkalt	Sivkalt	Megakark	Megakark
0	10	6.01	4.51	4.42	5.16	4.0	3.1	8.87	4.00	-2.53	-1.38	0.46	0.24
10	20	2.86	2.72	2.80	2.91	4.7	2.8	2.03	10.81	-3.52	-0.20	0.34	0.21
20	30	4.28	1.92	5.00	1.30	1.7	7.0	7.27	6.17	-3.74	1.25	0.21	0.19
30	40	1.83	2.15	2.28	2.50	4.2	12.4	9.19	10.26	1.79	2.83	0.17	0.16
40	50	2.12	1.99	2.10	2.27	9.9	15.0	8.10	5.19	0.88	2.93	0.20	0.20
50	60	2.14	1.97	2.42	3.15	14.5	14.7	7.93	1.90	3.06	4.38	0.18	0.17
60	70	2.33	1.47	4.18	1.14	18.0	11.1	3.87	4.58	1.20	3.49	0.18	0.18
70	80	1.39	1.95	1.92	1.53	14.0	12.5	5.22	5.42	2.40	3.49	0.18	0.17
80	90	1.41	2.47	1.16	2.03	11.4	13.2	1.65	5.09	3.55	4.57	0.18	0.15
90	100	2.05	0.88	2.16	0.87	13.6	11.7	4.90	1.37	3.36	4.15	0.20	0.17
100	110	1.56	1.77	0.83	2.02	14.4	13.5	4.65	1.74	4.15	4.31	0.18	0.17
110	120	1.21	2.50	0.66	2.86	11.8	12.5	2.45	6.90	2.60	4.12	0.23	0.17
120	130	2.33	2.28	2.11	2.22	12.3	11.0	2.44	4.18	4.09	3.63	0.18	0.19
130	140	2.35	1.07	2.65	1.56	12.9	9.1	7.95	7.61	5.57	3.12	0.18	0.16
140	150	1.61	1.47	1.99	0.80	8.6	9.2	3.61	5.35	3.46	2.85	0.21	0.16
150	160	1.21	2.09	2.10	2.09	9.8	2.1	9.61	5.82	2.99	1.89	0.20	0.16
160	170	1.79	1.03	1.52	1.40	5.4	3.2	5.79	6.16	1.84	-0.74	0.31	0.15
170	180	1.28	1.36	1.42	1.46	4.1	3.9	5.70	7.46	0.80	-1.03	0.18	0.16
180	190	0.86	0.65	1.12	0.87	3.7	2.0	4.70	3.09	-0.01	-0.75	0.16	0.17
190	200	1.16	0.75	1.12	0.93	1.2	2.3	6.68	1.97	-0.71	-1.53	0.19	0.16

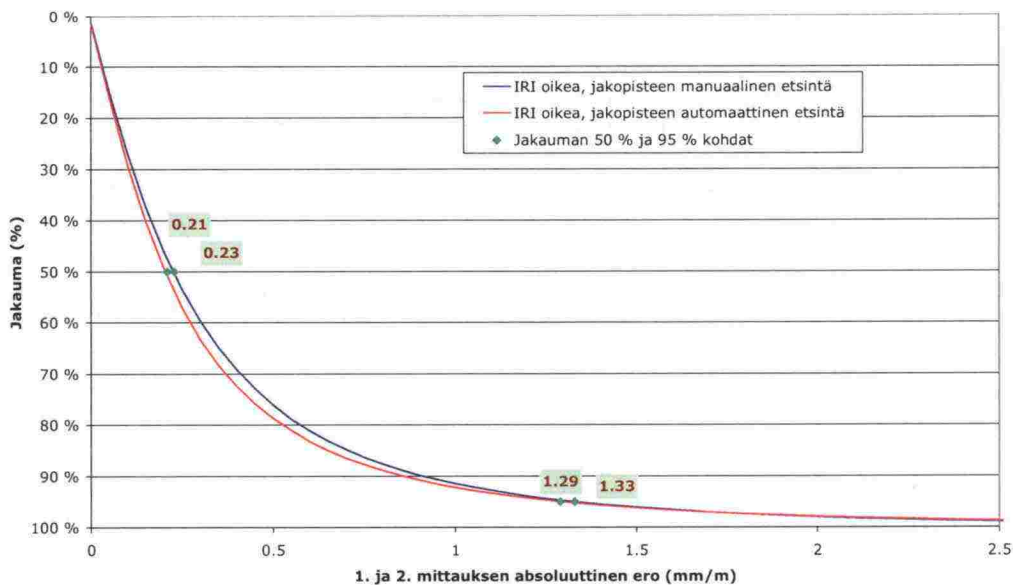
Taulukko 2. Esimerkki 100 m datan eroista, kun jakopisteen sijainnin ero on 20 m kahden eri mittauksen välillä (tie 9262, tieosa 6).

Alku	Loppu	IRI oik	IRI oik	IRI vas	IRI vas	Max ura	Max ura	RMS10-30	RMS4	Sivkalt, alku	Sivkalt, alku
0	100	2.20	2.64	2.29	2.84	10.4	9.6	5.90	6.35	1.09	-1.42
100	200	1.50	1.54	1.62	1.55	6.9	8.4	4.57	4.85	3.61	3.97
200	300	1.86	1.62	1.84	1.77	6.1	4.6	4.82	4.36	-2.60	-1.85

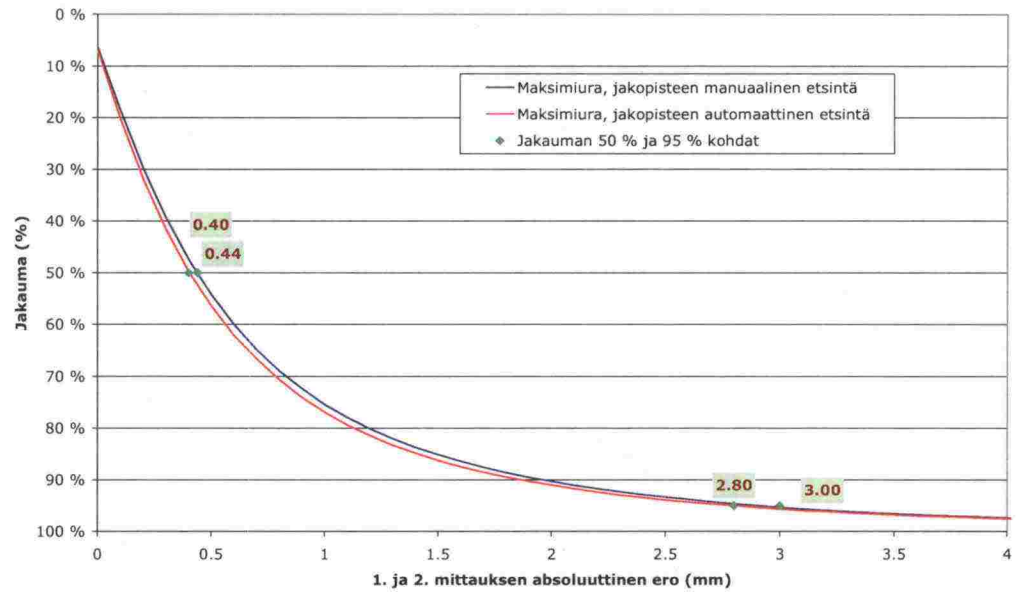
Tutkimuksessa verrattiin jakopisteen automaattisella etsinnällä ja manuaalisella etsinnällä tehtyjen mittausten 10 metrin datan laatua seuraavien kuntoparametrien osalta:

- IRI oikea
- Maksimiura
- Harjanteen korkeus
- Sivukaltevuus
- Kaarteisuus

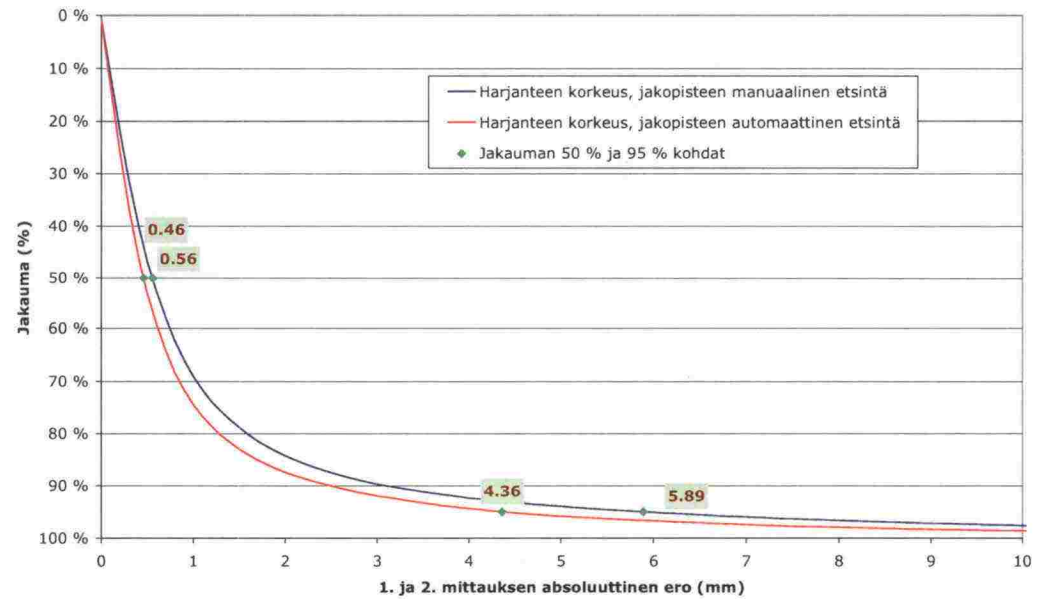
Jakopisteen paikannusmenetelmien vaikutus kuntodatan laatuun kuvataan tuotanto- ja kontrollimittausten eroihin perustuvien laatukäyrien avulla (vrt. kappale 4.3). Laatukäyrät kuvaavat kuinka lähellä toisiaan samalle tiejaksolle (esim. 10-metrinen) tehtyjen kahden tai useamman mittauksen tulokset ovat (toistettavuus). Yksittäisen kuntoparametrin laatu on sitä parempaa mitä lähempänä x- ja y-akselia laatukäyrä sijaitsee. Tulokset eri parametreille on havainnollistettu kuvissa 23–27.



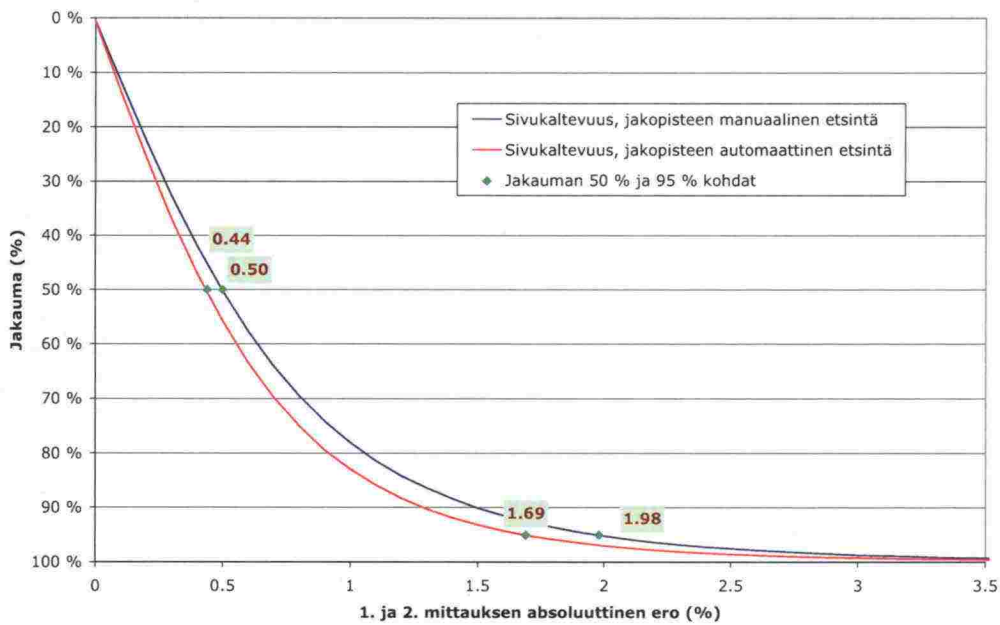
Kuva 23. IRI oikean 10 metrin datan laatuero jakopisteen automaattisen ja manuaalisen etsinnän välillä. Automaattinen jakopisteen etsintä tuottaa hiukan paremman laadun, tosin ero manuaaliseen ei ole merkittävä.



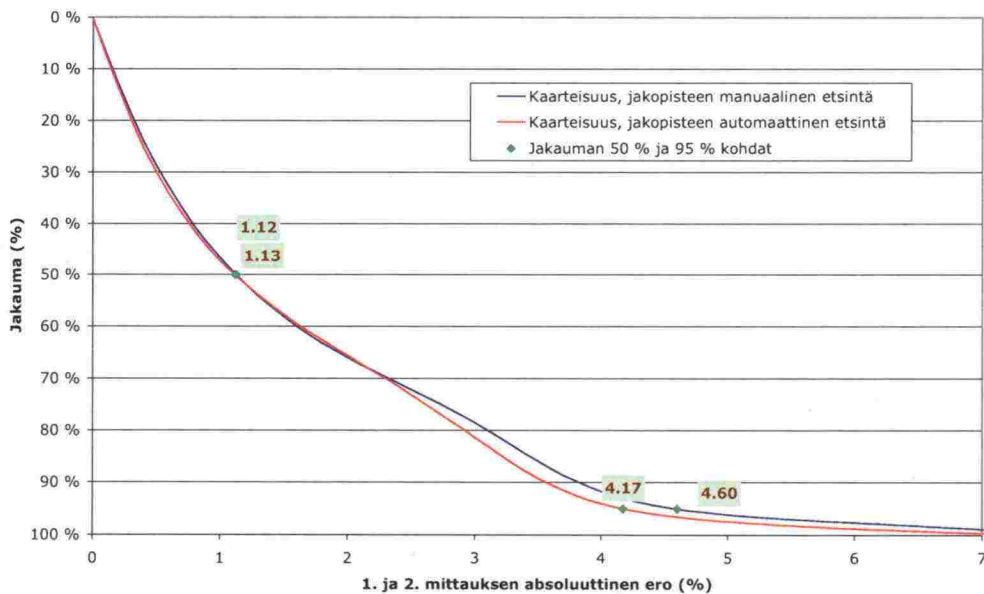
Kuva 24. Maksimiuran 10 metrin datan laatuero jakopisteen automaattisen ja manuaalisen etsinnän välillä. Automaattinen etsintä tuottaa hiukan paremman laadun.



Kuva 25. Harjanteen korkeuden 10 metrin datan laatuero jakopisteen automaattisen ja manuaalisen etsinnän välillä. Automaattinen etsintä tuottaa selvästi paremman laadun.



Kuva 26. Sivukaltevuuden 10 metrin datan laatuero jakopisteen automaattisen ja manuaalisen etsinnän välillä. Automaattinen etsintä tuottaa selkeästi paremman laadun.



Kuva 27. Kaarteisuuden 10 metrin datan laatuero jakopisteen automaattisen ja manuaalisen etsinnän välillä. Laatuero automaattisen mittauksen hyväksi kasvaa vasta arvosta 2 lähtien, koska suuri osa sitä pienemmistä arvoista ovat peräisin suorilta tiejaksolta, joilla kaarteisuusmittaus on helpommin toistettavissa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Mahdollisuus käyttää koordinaatteja tiestömittauksissa

Mittausteknologia on mahdollistanut koordinaattien käytön jakopisteiden automaattisessa etsinnässä jo vuosia ja tätä tekniikkaa on käytetty mm. Ruotsissa tehdyissä mittauksissa.

Myös riittävän tarkkoja GPS-palveluita ja DGPS-korjauspalveluita on saatavilla. FOKUS-korjauspalvelu tarjoaa 2 metrin tarkkuuden koordinaateissa sekä Suomessa että Ruotsissa.

5.2 Koordinaattien saatavuus ja toistettavuus

Koordinaattien saatavuus ja toistettavuus jakopisteen automaattisella etsinnällä verrattuna manuaaliseen jakopisteen etsintään on tämän selvityksen aineiston perusteella selkeästi parempaa tasoa.

Toistettujen automaattisten mittausten joukosta löytyi kuitenkin kahdella eri mittauksella muutamia yli 20 m metrin eroja, joihin ei löydetty pitävää selitystä. Yleisesti katsoen mahdollisia syitä ovat:

- Tieosan jakopisteen tyyppi
- Suunnittelukoordinaattien oikeellisuus
- GPS:n ja DGPS:n laatu
- Säätilan vaikutus (pilvinen sää)
- Mittausympäristö (esim. radioaaltoja hyvin heijastavat suuret johdepinnat mittausta paikan läheisyydessä)

Tieosan jakopisteen tyyppiin ja samalla suunnittelukoordinaattien sijaintiin liittyy se, millä tavoin mittausajoneuvo saapuu jakopisteelle (vrt. kääntyminen sivutieltä jakopisteelle vs. ajaminen suoraan päätietä). Tällaiset ongelmat voidaan poistaa lähinnä mittausohjeiden avulla.

Yksittäisten jakopistetyyppien ei sinällään voitu osoittaa vaikuttavan koordinaattien saatavuuteen. Esimerkiksi siltojen alla oleville jakopisteille saatiin tarkat sijainnit.

Tässä tutkimuksessa suunnittelukoordinaatteina käytetyt tietietokannan koordinaatit ovat usein tiepoikkileikkauksen ulkopuolella. Jos suunnittelukoordinaatti on esimerkiksi tien reunassa juuri jakopisteen kohdalla, löytää automaattinen koordinaattien etsintä oikean kohdan. Virheen mahdollisuus kuitenkin kasvaa, mitä enemmän suunnittelukoordinaatti on tien ulkopuolella. Jakopisteiden suunnittelukoordinaatit (tietietokanta) tulisikin tarkistaa ja korjata liian kaukana tiestä olevat paremmin tiestömittauksiin soveltuviksi.

GPS-koordinaattien laadun tarkkailuun on olemassa mittausten yhteydessä saatavia tunnuslukuja. Tutkimuksessa suoritettujen koordinaattimittausten satelliittimäärät olivat hyviä ja pienemmillä satelliittimäärillä saatiin yhtä hyvä koordinaattien tarkkuus kuin suuremmilla määrillä. DGPS-korjauspalvelun saatavuus ja GPS-mittausten laatua kuvaavat HDOP-arvot olivat yleisesti hyvää tasoa. Kaakkois-Suomen ja Turun tiepiirin alueella saatiin kuitenkin

muutamia HDOP-arvojen ylityksiä ja myös DGPS-korjauspalvelun saatavuudessa oli hiukan toivomisen varaa.

Edellä mainittujen seikkojen perusteella koordinaattien mittaus onnistuu erittäin hyvin keskeisessä Suomessa ja Pohjois-Suomessa. Eteläisessä Suomessa (mukaan lukien Kaakkois-Suomi) koordinaattien mittaus onnistuu melko hyvin, vaikkakin DGPS-korjauspalvelun saatavuus voi tuottaa pieniä ongelmia.

Mittausajoneuvon nopeus jakopisteellä ei vaikuta kahden eri mittauksen koordinaattien eroihin.

Säätilan ja mittausympäristön (jakopisteen lähellä oleva metsä tai rakenteet) vaikutus koordinaattien saatavuuteen tulisi tutkia lähivuosien aikana.

5.3 Vaikutukset dataan

Kuntotietoa käytetään enenevässä määrin 10 metrin dataa hyödyntävässä hanketason päällystesuunnittelussa, jossa kuntodatan kohdistuvuuden merkitys on verkkotason päällystysohjelmointiin verrattuna suurempi. Jakopisteen automaattinen etsintä parantaisi erityisesti 1- ja 2-suunnan mittausten tarkastelun tarkkuutta samalla tienkohdalla, koska tieosoitteet vastakkaisten suuntien 10-metrisillä ovat tällöin tarkemmin kohdallaan.

Automaattisen jakopisteen etsinnän avulla saadaan tutkimuksen perusteella selvästi manuaaliseen etsintään verrattuna laadukkaampaa harjanteen korkeus-, sivukaltevuus- ja kaarteisuusdataa (10 m). IRI oikean ja maksimiuran laadun paranema on pienempi, mutta kuitenkin havaittava. 100 metrin datan laatua automaattinen koordinaattien etsintä ei juuri paranna.

5.4 Automaattisen jakopisteen etsinnän hyödyt

Tulosten perusteella voidaan esittää koordinaatteihin perustuvan jakopisteiden etsinnän antavan seuraavia hyötyjä Tiehallinnolle:

- Mittausten laadun parantuminen entisestään

Luottamus mittaustuloksiin kasvaa, koska jakopisteen väärin tehty manuaalinen määrittäminen on eräs merkittävistä syistä tietyn tieosan mittauksen huonoon toistettavuuteen.

Kohdekohtaisissa tarkasteluissa on käytössä luotettavampaa 10 metrin dataa.

Ykkös- ja kakkossuunnan mittausdatat ovat tarkemmin samalla kohdalla.

- Mittausten toteuttaminen nopeammin

Ei aikaa vievää jakopisteiden etsintää. Osa jakopisteistä on paa-luja, rumpuja tms., jotka voivat peittyä kasvillisuuden alle. Näiden

etsintä vie mittaajilta vuosittain arviolta 3 päivän työsuoritusta vastaavan ajan.

Tiehallinto saa mittaustulokset nopeammassa aikataulussa. Aikaa vaativien jakopisteiden etsintätöiden sijaan päästään nopeammin datan käsittelyvaiheeseen ja tallettamaan tietoa kuntotietorekisteriin.

- Tiehallinnon ei tarvitse käyttää aikaa niin paljoa jakopisteiden tietojen päivittämiseen (edellyttäen, että koordinaatit otetaan osaksi jakopisteen tunnistustietoja)

Osa tieosien fyysisistä jakopisteistä katoaa (kunnan rajat, paalut, rummut yms.) ajoittain tieverkolta. Näiden muutosten hallitsemiseksi olisi tarkoista jakopisteiden koordinaateista hyötyä mm. jakopisteen paikan tunnistamisessa.

Jakopisteiden tietojen ylläpito helpottuu, jos jossain vaiheessa koordinaateista tulee jakopisteen pääasiallinen tunniste.

6 LÄHTEET

Digita (2007). Satelliittipaikannus. Internet-artikkeli.

http://www.digita.fi/digita_tulosta.asp?path=1840;1852;7470;7474;7477;2163

JUHTA (2006, päivitysversio). Julkisen hallinnon suositus 153; ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. Julkisen hallinnon neuvottelukunta, Helsinki.

Maanmittauslaitos (2003). Kaavoitusmittausohjeet. Helsinki.

Ramboll (Mattila, Kalervo & Persson, Eva-Maria, 2006). Kuvaus tien pinnan LaserRST-kuntoparametreista Suomessa, versio 10. Julkaisematon ohjekumentti.

7 LIITTEET

LIITE 1

Satelliittien määrät jakopisteen automaattisella etsinnällä

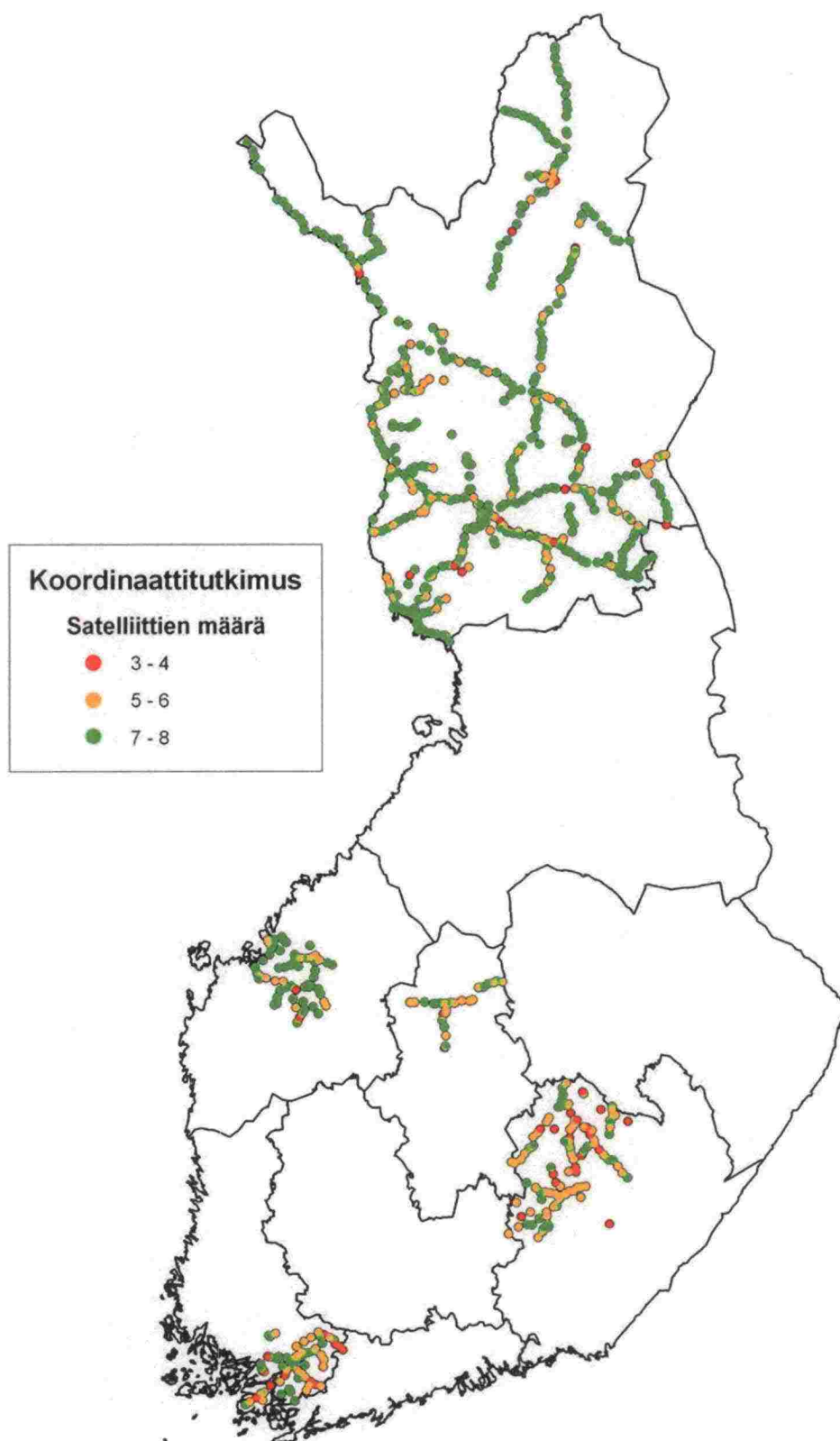
LIITE 2

DGPS-korjauspalvelun saatavuus jakopisteen automaattisella etsinnällä

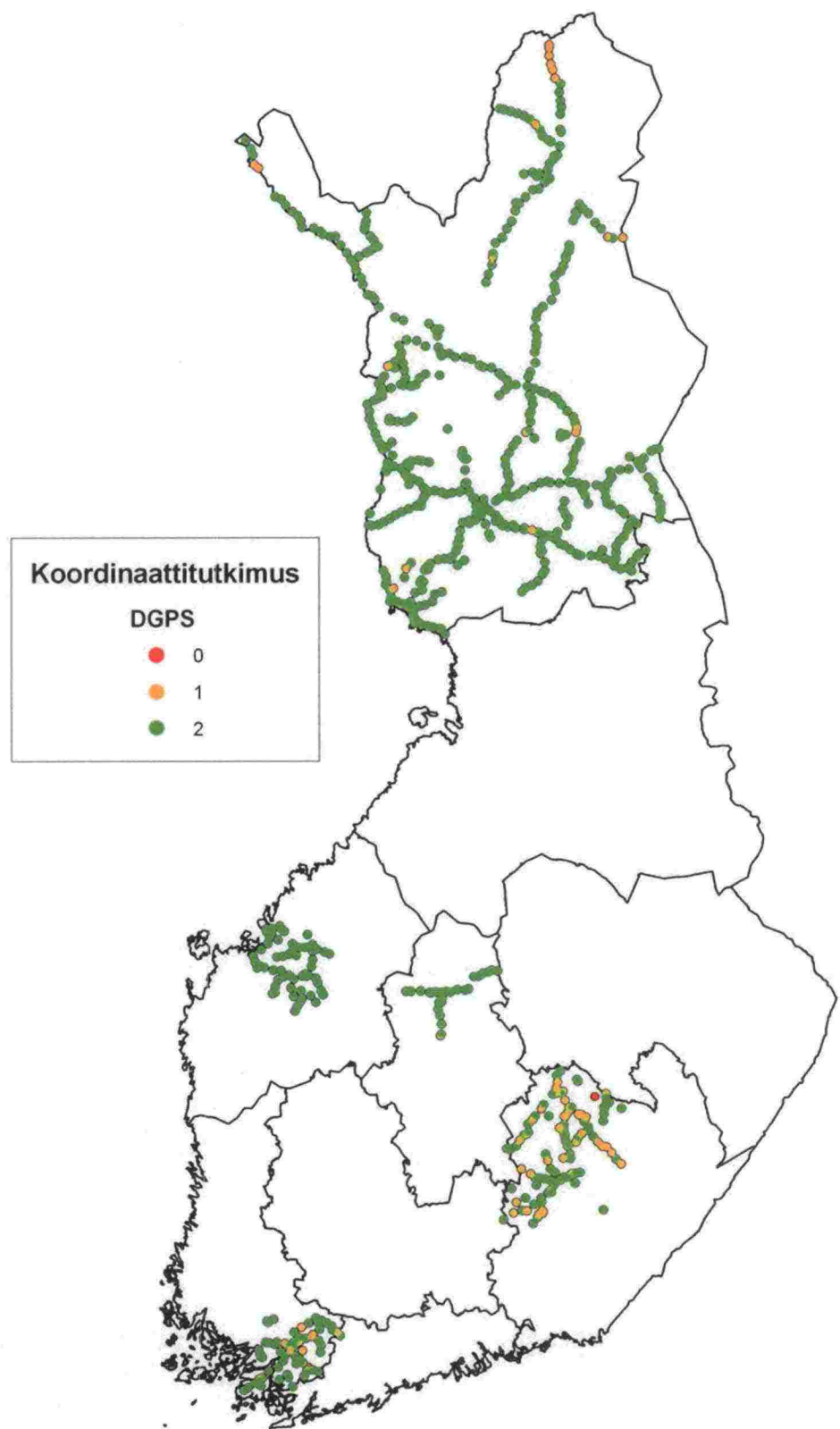
LIITE 3

HDOP-arvot jakopisteen automaattisella etsinnällä

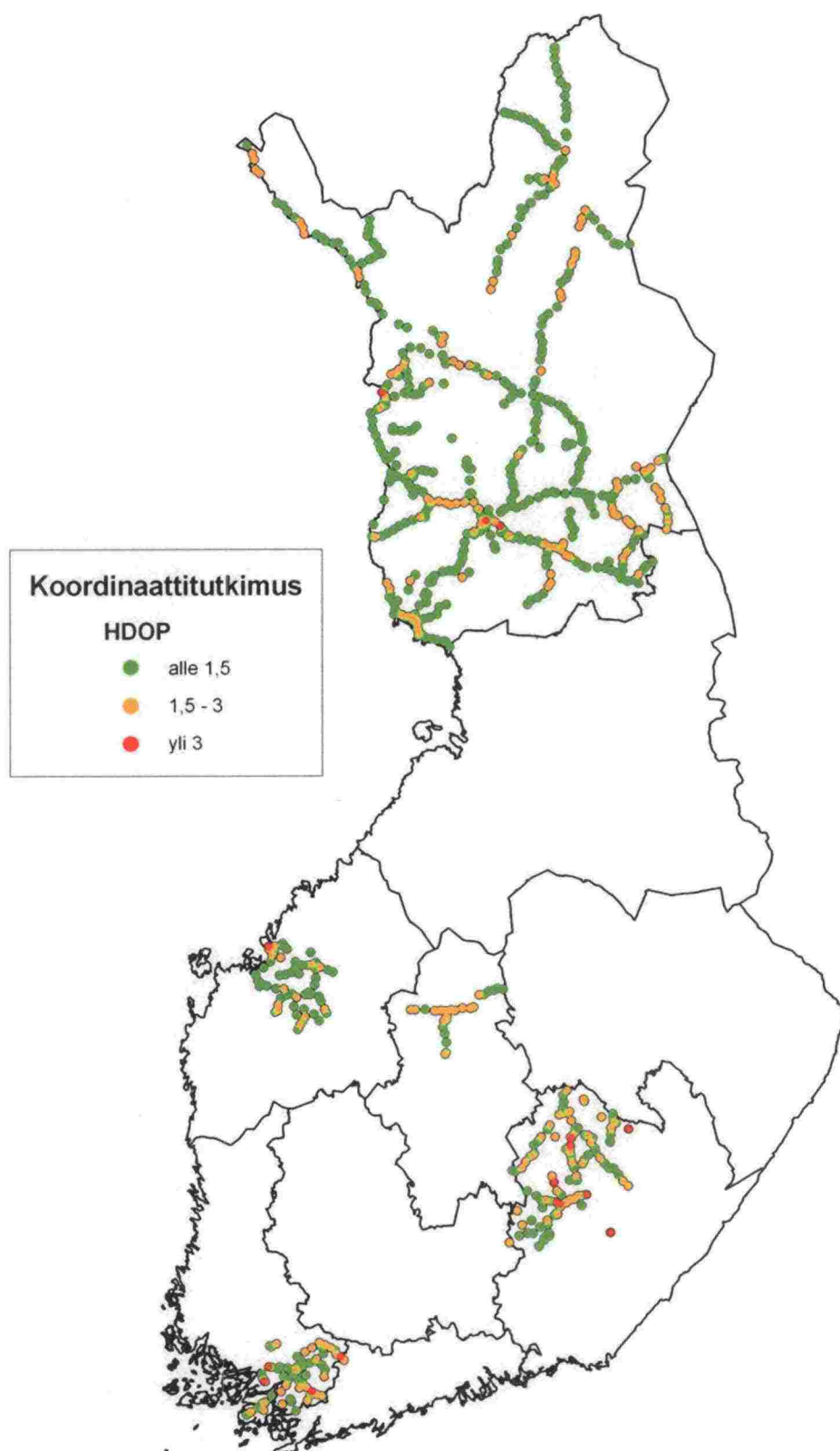
LIITE 1 SATELLIITTIENTEN MÄÄRÄT JAKOPISTEEN AUTOMAATTISELLA ETSINNÄLLÄ



LIITE 2 DGPS-KORJAUSPALVELUN SAATAVUUS JAKOPISTEEN AUTOMAATTISELLA ETSINNÄLLÄ



LIITE 3 HDOP-ARVOT JAKOPISTEEN AUTOMAATTISELLA ETSINNÄLLÄ



ISSN 1457-9871
ISBN 978-951-803-972-6
TIEH 3201075